

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

L'HISTORIQUE ET LE PRÉSENT DES EFFLORESCENCES DE
CYANOBACTERIES AU LAC BROME (QUÉBEC) EN RELATION AVEC
LES PERTURBATIONS DU BASSIN VERSANT : PALÉOPIGMENTS,
AKINÈTES ET PHYTOPLANKTON.

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN BIOLOGIE

PAR
ALEXANDRE BLIN

Juin 2009

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Cette recherche a été possible grâce au financement du fond québécois de la recherche sur la nature et la technologie (FQRNT)

J'aimerais remercier ma directrice de maîtrise, le Dr. Dolors Planas pour m'avoir donné l'opportunité de réaliser ce projet. Merci pour le suivi tout au long de la recherche et pour m'avoir permis de mener à terme cette étude.

J'aimerais exprimer ma reconnaissance et mon admiration à mon co-directeur, le Dr. Moritz Lehmann. Merci pour le savoir scientifique et l'expérience humaine dont tu m'as gratifié au fil de ces trois années.

Je voudrais remercier les professeurs du GREAU, Paul DelGiorgio Yves Prairie, David Bird, Beatrix Beisner et Pedro Peres Neto.

Je tiens à remercier Serge Paquet pour les connaissances qu'il m'a transmises tout au long du projet. Je pense également à William Andres Martinez Duenas avec qui le terrain fut une partie de plaisir. Je n'oublie pas Catherine Beauchemin, Agnieszka Adamowicz et Bassam Ghaleb pour les différentes analyses.

Merci aux étudiants du Gréau et du Geotop pour les bons moments passés et les nombreuses idées partagées.

Je voudrais enfin remercier ma famille : en France (Jacques, Catherine et Antoine) et au Québec (Catherine et Castor). Merci de m'avoir permis de réaliser l'un de mes rêves, de m'avoir accompagné et soutenu dans les moments les plus joyeux comme les plus difficiles. Ce mémoire vous est entièrement dédié.

AVANT-PROPOS

L'introduction générale présente la problématique et l'objectif de la recherche, ainsi qu'une description du milieu d'étude.

Le premier chapitre est une revue de littérature faisant un bref rappel sur l'écologie des cyanobactéries et les conditions qui influencent l'apparition des efflorescences cyanobactériennes.

Le deuxième chapitre a été écrit sous forme d'article scientifique, il traite de l'importance du recrutement des cellules de résistances cyanobactériennes dans la formation des blooms.

Le troisième chapitre est également rédigé sous forme d'article, et il traite de l'historique des cyanobactéries au lac Brome depuis l'installation des premiers colons.

La conclusion générale reprend les principales discussions de cette recherche et les perspectives qui en découlent.

Le chapitre deux et trois seront ultérieurement combinés sous forme d'un article scientifique rédigé en anglais, qui sera soumis à publication dans une revue spécialisée en écologie aquatique.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT PROPOS.....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
RÉSUMÉ.....	x
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
Problématique des efflorescences cyanobactériennes et objectifs de l'étude	2
Le lac Brome.....	3
CHAPITRE I	
REVUE DE LITTÉRATURE.....	5
1.1 Écologie des cyanobactéries.....	6
1.2 Conditions favorisant l'apparition des efflorescences cyanobactériennes	10
1.3 Références.....	13
CHAPITRE II	
RECRUTEMENT DES POPULATIONS CYANOBACTÉRIENNES AU NIVEAU DES SÉDIMENTS SUPERFICIELS : IMPORTANCE DE L'INOCULUM LITTORAL ET PROFOND.....	19
RÉSUMÉ.....	20
2.2 Introduction.....	21
2.2 Matériel et méthodes.....	23
2.2.1 Site d'étude.....	23
2.2.2 Échantillonnage de la colonne d'eau et analyses.....	23
2.2.3 Prélèvements de sédiments et analyses.....	25
2.2.4 Analyses statistiques.....	25

2.3 Résultats.....	26
2.3.1 Données physico-chimiques.....	26
2.3.2 Données biologiques.....	31
2.3.3 Composition du phytoplancton.....	33
2.3.4 Variation spatio-temporelle des espèces cyanobactériennes dominantes.....	36
2.3.5 Abondance des akinètes au niveau des sédiments superficiels	41
2.4 Discussion.....	44
2.5 Références.....	51
CHAPITRE III CHANGEMENTS RÉCENTS DE L'ABONDANCE CYANOBACTÉRIENNE DU LAC BROME (QUÉBEC) : ÉTUDE PALÉOLIMNOLOGIQUE ET GÉOCHIMIQUE.....	55
RÉSUMÉ.....	56
3.1 Introduction.....	57
3.2 Matériel et méthodes.....	60
3.2.1 Caractéristiques du lac d'étude; le lac Brome.....	60
3.2.2 Données historiques.....	60
3.2.3 Prélèvement des sédiments.....	61
3.2.4 Datation des sédiments.....	62
3.2.5 Analyse des pigments fossils sédimentaires.....	62
3.2.6 Dénombrement des akinètes.....	63
3.2.7 Analyse isotopique.....	64
3.2.8 Analyse statistique.....	64

3.3 Résultats.....	65
3.3.1 Pb ²¹⁰ en excès, activité du ¹³⁷ Cs et taux de sédimentation	65
3.3.2 Stratigraphie de la matière organique et des pigments	67
3.3.3 Stratigraphie des akinètes	70
3.3.4 Analyses isotopiques de l'azote	72
3.3.5 Relation entre les pigments fossiles et les akinètes	74
3.4 Discussion.....	76
3.4.1 Paléotraceurs des cyanobactéries	76
3.4.2 Historique de l'eutrophisation et de la fixation du N ₂ au lac Brome	79
3.4.3 Bilan isotopique de l'azote.....	83
3.5 Références.....	86
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	93
APPENDICE	98
Appendice I : Évolution des apports externes en phosphore entre 1970 et 1980 au lac Brome.....	99
Appendice II : Évolution des éléments nutritifs dans la colonne d'eau du lac Brome.....	100
Appendice III : Dénombrement algal 2005.....	101
BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE.....	131

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
2.1	Données physico-chimiques	27
2.2	Dosage du phosphore : PT et PTD (en $\mu\text{g/l}$)	29
2.3	Dosage de l'azote : NT et $\text{NO}_2\text{-NO}_3$ (en $\mu\text{g/l}$)	30

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
2.1 Exemple de profils de température, d'oxygène et de lumière pour la station profonde (23 juillet 2005)	28
2.2 Évolution spatio-temporelle de la chlorophylle a : station littorale (a) et station profonde (b)	32
2.3 Biomasse relative des grands groupes phytoplanctoniques : Station littorale	34
2.4 Biomasse relative des grands groupes phytoplanctoniques : Station profonde	35
2.5 Variation spatio-temporelle d' <i>Anabaena flos aquae</i> : Abondance intégrée (cellules/l) en surface et en profondeur, test de « Repeated time analysis »	38
2.6 Variation spatio-temporelle d' <i>Aphanizomenon flos aquae</i> : Abondance intégrée (cellules/l) en surface et en profondeur, test de « Repeated time analysis »	39
2.7 Variation spatio-temporelle d' <i>Anabaena planctonica</i> : Abondance intégrée (cellules/l) en surface et en profondeur, test de « Repeated time analysis »	40
2.8 Abondance des akinètes dans les sédiments superficiels (0-1cm) : (a) station littorale ; (b) station profonde	42
2.9 Morphologies des akinètes des espèces dominantes	43
3.1 Pb ²¹⁰ , Cs ¹³⁷ et taux de sédimentation	66
3.2 Pourcentage de matière organique	68
3.3 Stratigraphie des pigments	69
3.4 Stratigraphie des akinètes	71

3.5	Analyses isotopiques : $\delta^{15}\text{N}$	73
3.6	Régression linéaire : akinètes vs. Pigments fossiles.....	75

RÉSUMÉ

Depuis les années 1990, les efflorescences de cyanobactéries se sont intensifiées durant une partie de l'été et de l'automne au lac Brome (Cantons de l'Est, Québec). Malheureusement, ces proliférations cyanobactériennes peuvent s'accompagner d'une production et d'une libération de toxines dans les écosystèmes affectés. Cependant, les conditions qui favorisent la formation de ces fleurs d'eau ne sont pas encore complètement clarifiées. Les objectifs principaux de cette étude étaient de montrer : 1/ le lien étroit qui existe entre les cellules de résistances présentes à la surface des sédiments et la formation des efflorescences pélagiques ; 2/ utiliser les akinètes et les pigments fossiles comme « proxy » pour retracer l'historique des cyanobactéries depuis les premières années d'installation des colons dans la région d'étude ; 3/ tenter de relier les fluctuations de l'abondance relative des cyanobactéries ayant la capacité de fixer l'azote atmosphérique (N_2), avec la variation relative des concentrations en éléments nutritifs (N et P), résultant en partie de l'eutrophisation de l'écosystème. Les résultats obtenus confirment qu'il y a présentement un problème de qualité de l'eau au lac Brome, lié à un développement massif de cyanobactéries potentiellement toxiques pendant la saison libre des glaces. Ce lac présente une succession d'efflorescences de cyanobactéries caractéristiques d'un milieu eutrophe, ayant la capacité de produire des akinètes et de fixer le N_2 (*Anabaena* sp. et *Aphanizomenon* sp.). Nous avons obtenu une relation significative entre l'abondance relative des akinètes dans les sédiments et la biomasse estimée des cyanobactéries grâce aux pigments fossiles (Canthaxanthine-akinètes : $R^2 = 0.43$, $p=0,0016$; Aphanizophyll-akinètes : $R^2 = 0.71$, $p<0,0001$). Par ailleurs, cette étude suggère que la zone littorale tout comme la zone profonde peuvent contribuer à l'ensemencement de la colonne d'eau. Enfin, nous avons obtenu une concordance assez nette entre l'augmentation de l'abondance relative des cyanobactéries ayant la capacité de fixer le N_2 , la diminution du ratio N/P (qui passe de 30 dans les années 1970 à 10 en 2005) et la diminution du ratio $^{15}N/^{14}N$ reflétant un accroissement des taux de fixation du N_2 dans l'écosystème. Le recoupement entre ces données suggère que les cyanobactéries ont en partie réussi à dominer l'assemblage phytoplanctonique grâce à leur capacité de fixer le N_2 .

Mots clés : cyanobactéries, paléopigments, akinètes, eutrophisation.

INTRODUCTION GÉNÉRALE.

Problématique des efflorescences cyanobactériennes et objectifs de l'étude :

La fréquence d'apparition des efflorescences de cyanobactéries potentiellement toxiques a augmenté au cours des dernières décennies au lac Brome (Québec). La problématique majeure liée à la formation de ces fleurs d'eau est la production et le relargage éventuel de toxines. Cette production spécifique préoccupe de plus en plus les autorités publiques, car elle peut constituer une source d'empoisonnement à plus ou moins long terme pour les animaux et les êtres humains (Sivonen & Jones 1999). A l'heure actuelle, il est clair que ces organismes représentent un danger pour les eaux de récréation ou de consommation. Par conséquent, les efflorescences de cyanobactéries constituent un problème de santé publique non négligeable. Au cours de cette étude, nous allons notamment nous intéresser aux mécanismes et aux conditions environnementales qui favorisent la formation de ces blooms, puisque ces paramètres ne sont pas encore complètement élucidés.

Au Canada, peu de recherches ont étudié le lien potentiel qui existe entre les akinètes à la surface des sédiments et les efflorescences cyanobactériennes pélagiques. Ainsi, Trimbee & Harris (1984) ont tenté de caractériser le recrutement benthique des populations cyanobactériennes au niveau d'un lac du sud de l'Ontario grâce à des pièges benthiques. Ils ont montré que le recrutement des formes de résistances au niveau des sédiments superficiels contribuait de 2 à 4% au gain de la population pélagique. Kling (1998) a étudié l'évolution de l'abondance relative des akinètes préservées dans les sédiments du lac Winnipeg au Manitoba. Ce lac présente des efflorescences de cyanobactéries ayant la capacité de produire des akinètes (*Aphanizomenon sp.* et *Anabaena sp.*), au cours de l'été. L'auteur a montré que l'abondance relative des cyanobactéries avait augmenté progressivement avec le déclin des autres populations algales (estimé par d'autres paléotraceurs dans les sédiments). Il a montré que l'accroissement de l'abondance des akinètes au fil du temps pouvait être relié à l'eutrophisation progressive de l'écosystème. Tymowski & Duthie (2000) ont suggéré que les akinètes de *Gloeotrichia echinulata* participaient au développement de la population pélagique dans le lac Peninsula en Ontario.

Au Québec, on ne retrouve aucune étude qui étudie le lien entre les formes de résistances à la surface des sédiments et la formation des efflorescences cyanobactériennes. On ne retrouve également aucune recherche qui retrace l'historique des fleurs d'eau de cyanobactéries dans un lac, depuis l'installation des premiers colons. Un des objectifs de cette étude était de mettre en évidence le lien probable entre les akinètes au niveau des sédiments superficiels et les populations pélagiques cyanobactériennes. Nous avons également tenté de déterminer s'il existe un site privilégié de recrutement des formes de résistances, au niveau des sédiments du lac. Par ailleurs, nous avons tenté de relier l'évolution de l'abondance relative des cyanobactéries au cours du dernier siècle, avec la modification des concentrations en éléments nutritifs (P et N), résultant en partie de l'eutrophisation de l'écosystème. En utilisant une approche paléolimnologique, biologique et géochimique, notre étude ne s'est pas uniquement concentrée sur les mécanismes et les conditions environnementales conduisant à la formation des fleurs d'eau cyanobactériennes dans les lacs eutrophes peu profonds. En effet, cette approche va également nous fournir des informations sur l'évolution de l'abondance relative des cyanobactéries potentiellement toxiques au lac Brome, au cours des 150 dernières années.

Le lac Brome :

Le lac Brome est situé dans le Sud-Est du Québec, Canada (45°15'N, 72°30'W), à une altitude de 196,08 m, avec une surface de 14,6 km². La surface de son bassin versant est de 185,6 km². Cet écosystème a un périmètre de 21,08 km, une profondeur moyenne de 5,8 m et une profondeur maximale de 12,8 m. Il a une longueur maximale de 5,79 km et une largeur maximale de 4,83 km. Au lac Brome, différents rapports écrits depuis les années 1970 décrivent la présence de plus en plus marquée de cyanobactéries potentiellement toxiques ayant la capacité de produire des akinètes et de fixer l'azote atmosphérique. Ainsi, Alain & al. (1978), ont montrés que les diatomées dominaient l'assemblage phytoplanctonique estival au cours de l'été 1975, dans ce lac. Les cyanobactéries potentiellement toxiques, ayant la

capacité de synthétiser des akinètes étaient cependant présentes de manière importante avec plus de 30% de la biomasse totale du phytoplancton à certains moments de l'été. En 1991, un autre rapport montrait qu'*Anabaena flos aquae* dominait l'assemblage phytoplanctonique lors de la formation d'un bloom le 29 août 1991 (Maly 1991). Enfin, Del Giorgio & Prairie (1994, 1995) ont montré que les cyanobactéries dominaient la communauté phytoplanctonique au lac Brome depuis les années 1990, pendant la saison libre des glaces. Le lac Brome présente donc un problème de qualité de l'eau lié à un développement cyanobactérien potentiellement toxique. Ce lac qui présente diverses perturbations du bassin versant (agricoles, industrielles, urbaines...) est par ailleurs utilisé à des fins récréatives, ce qui peut constituer un risque pour les populations riveraines et touristiques.

CHAPITRE I :

REVUE DE LITTÉRATURE

1.1 Écologie des cyanobactéries :

Les cyanobactéries aussi appelées algues bleu-vert sont des bactéries Gram négatif qui se répartissent en 150 genres regroupant quelque 2000 espèces (Duy & al. 2000). Longtemps considérés comme des algues en raison de leur capacité à réaliser la photosynthèse, des analyses plus approfondies de leur ultrastructure ont permis de confirmer qu'il s'agissait de bactéries photosynthétiques appartenant aux procaryotes (Carmichael 1994). En réalité, on dénombre trois caractères cytologiques distincts qui permettent de les classer dans ce phylum : absence de noyau, absence de plaste, absence de reproduction sexuée. Les cyanophycées sont sans doute phylogénétiquement parmi les êtres les plus anciens, notamment dans les stromatolithes il y a 3,2 milliards d'années. Des formes rappelant les Oscillatoriales ont été observées aux Etats-unis au voisinage des grands lacs, dans les terrains précambriens de 2000 millions d'années (Barghoorn & Tyler 1965). Bourelly (1970) et Whitton & Sinclair (1975) ont fait une synthèse des connaissances sur la distribution des cyanobactéries. Elles sont présentes dans tous les pays du monde et en tout lieu, aussi bien dans les milieux aquatiques (des eaux douces aux eaux hypersalées) que dans les milieux désertiques. Ce sont, avec les bactéries, les seuls organismes photosynthétiques susceptibles de vivre dans des eaux thermales dépassant la température de 56°C. Elles poussent également sur les rochers où elles vivent en symbiose avec les champignons tels les lichens. Elles peuvent être endolithes, perforant les roches pour s'y réfugier, ou bien endophytes dans les feuilles de fougères aquatiques du genre *Azolla*. Elles sont enfin lithogènes, construisant des tufs ou des stromatolithes. Ces organismes ancestraux présentent donc une grande capacité d'adaptation au fil du temps. Cette faculté d'acclimatation à tous les milieux, est en particulier remarquable lors de la formation de fleurs d'eau spectaculaires qui peuvent couvrir les étangs, les lacs voir même certaines zones océaniques (Bourelly 1970). Le terme de fleur d'eau (en anglais, on parle de « algal bloom ») désigne actuellement toutes proliférations de phytoplancton, dès lors que leur abondance communique à l'eau une coloration soutenue, évidente pour l'observateur non averti. Ce phénomène est l'aboutissement d'une croissance phytoplanctonique massive et concerne parfois une association de quelques espèces, mais est

le plus souvent monospécifique. En eau douce, les fleurs d'eau les plus remarquées sont dues à des cyanobactéries, à cause des colorations particulières qu'elles peuvent présenter, ou encore de l'odeur qui peut en émaner lors de leur décomposition. Cependant, il faut faire la distinction entre les cyanobactéries qui ont la faculté de former des efflorescences et les autres. Les cyanobactéries filamenteuses sont les plus propices à développer ce genre de formation, en particulier en milieu eutrophe. On peut citer l'ordre des Nostocales (dans lequel on retrouve différents genres comme *Nostoc*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Nodularia*, *Anabaenopsis*, *Gloeotrichia* et *Cylindrospermopsis*, (Bourelly 1970, Van Den Hoek & al. 1995)), l'ordre des Oscillatoriales, (*Oscillatoria* (*Planktothrix*) et *Lynbya*) et l'ordre des Chroococcales, (avec le genre *Microcystis*).

- *Cellules de résistances*

Les cyanobactéries sont capables de produire des spores, des akinètes (spore de conservation) chez les Nostocaceae et les Rivulariaceae notamment, (Paerl 1988); ou des colonies végétatives que l'on retrouve chez les chroococcales coloniales (Reynolds & Walsby 1975, Head & al. 1999). Ces différentes formes de résistances vont pouvoir sédimenter et ainsi former une « banque de réserve » au niveau des sédiments superficiels (Rengefors & al., 2004). Ces cellules spécialisées vont rester viables au niveau des sédiments superficiels et vont pouvoir germer à l'interface eau-sédiment ou dans la colonne d'eau lorsque des conditions environnementales favorables sont réunies. Les akinètes ont un intérêt tout particulier car elles constituent des spores durables qui peuvent rester viables dans les sédiments pendant plus d'une centaine d'années (VanGeel & al. 1994). Ces spores de conservation toujours unicellulaires sont chargées de réserves et entourées d'une membrane épaisse parfois ornée ou sculptée, de forme ronde à ovoïde en fonction des espèces. Elles se détachent du thalle et dans des circonstances favorables, se dépouillent de leur membrane et germent en un nouveau thalle (Bourelly 1970, Hori & al. 2002). On retrouve peu d'études qui ont utilisé les akinètes comme traceur paléolimnologique, pour étudier l'historique des

cyanobactéries productrices d'akinètes dans les lacs. Ainsi, Eilers & al. (2004) ont dénombré les akinètes dans les sédiments d'un lac de l'Oregon, pour évaluer l'abondance relative des cyanobactéries depuis le milieu du 19^{ième} siècle. Rasänen & al. (2006) ont étudié l'abondance des akinètes dans les sédiments d'un lac de Finlande pour notamment tester sa viabilité en tant que paléotraceur.

- Capacité de fixer l'azote moléculaire

Certaines cyanobactéries ont la faculté de pouvoir fixer l'azote moléculaire N_2 , ce qui peut partiellement représenter un avantage écologique, puisqu'elles ont à disposition une source d'azote renouvelable (N_2), outre l'assimilation des nitrates ou de l'ammonium. Trois groupes de cyanobactéries sont capables de fixer le N_2 . On retrouve les espèces qui peuvent produire des hétérocystes; cellules à membrane épaisse, à contenu cellulaire homogène et très clair qui paraissent vides. Ces cellules contiennent une enzyme qui permet à ces organismes de fixer le N_2 : la nitrogénase. Stewart & al. (1969) sont les premiers à avoir mis en évidence que les hétérocystes étaient capables de fixer le N_2 . *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Aphanizomenon*, *Aulosira*, *Calothrix*, *Cylindrospermum*, *Fischerella*, *Hapalosiphon*, *Mastigocladus*, *Nostoc*, *Scytonema*, *Tolypothrix* et *Westiellopsis* appartiennent à cette catégorie de cyanobactéries (Fogg & al. 1973). On retrouve également des cyanobactéries filamenteuses ne présentant pas d'hétérocystes qui sont capables de fixer le N_2 (par la présence de la nitrogénase dans la cellule). Stewart & Lex (1970) sont les premiers à avoir relevé l'existence de la nitrogénase chez les cyanobactéries sans hétérocystes, en étudiant *Plectonema boryanum*. *Lyngbya*, *Oscillatoria* et *Plectonema* appartiennent à cette catégorie (Fogg & al. 1973). Enfin, on retrouve des algues unicellulaires qui sont capables de fixer le N_2 par l'action de la nitrogénase; cette capacité a été mise en évidence par Wyatt & Silvey (1969) en étudiant une souche de *Gloeocapsa*.

- *Pigments cyanobactériens*

Les cyanobactéries ont la capacité de proliférer au niveau d'habitats présentant une faible luminosité, par une production de pigments uniques (Walsby 1992). Ces organismes sont capables d'absorber différentes longueurs d'ondes du spectre lumineux (grâce aux pigments spécifiques; phycobilines rouge et bleu: phycoérythrine et phycocyanine). Ils possèdent également des pigments caroténoïdes que l'on peut diviser en deux grandes catégories; les carotènes (par exemple, la β -carotène), et les xanthophylles (par exemple: la lutéine, la myxoxanthine, la myxoxanthophylle, l'oscillaxanthine, l'échinone, la nostoxanthine, la zéaxanthine, la flavocine), (Jeffrey & al. 1997). On retrouve également d'autres xanthophylles comme l'aphanizoxanthine, la myxorhodine, la phycoxanthine et l'aphanizophylle qui sont proche de la myxoxanthophylle (Goodwin 1965). La présence de ces pigments spécifiques peut potentiellement représenter un avantage écologique sur les autres espèces, en particulier lorsque la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau diminue. Ces pigments vont également représenter un intérêt purement méthodologique. Ainsi, ils peuvent servir en limnologie à étudier l'évolution de la biomasse relative des cyanobactéries dans la colonne d'eau tout comme dans les sédiments (Leavitt & Findlay 1994). En effet, les pigments fossiles sédimentaires spécifiques conservés dans les sédiments, peuvent servir à quantifier les changements historiques dans la production du lac (Dixit & al. 2000, Cuddington & Leavitt 1999). En d'autre terme, ces pigments sont des biomarqueurs qui peuvent apporter des informations sur les changements de la biomasse cyanobactérienne dans le temps, tout comme l'évolution du statut trophique des lacs (Engstrom & al. 1985). On retrouve diverses études qui ont utilisées les pigments fossiles spécifiques des cyanobactéries dans les sédiments pour obtenir des informations sur les fluctuations de la biomasse relative de ce groupe de procaryotes (Hall & al. 1997, Dixit & al. 2000).

1.2 Conditions favorisant l'apparition des efflorescences cyanobactériennes :

Les cyanobactéries sont des organismes procaryotes photoautotrophes peu compétitifs qui peuvent être considérés comme opportunistes car elles peuvent prendre le pas sur les autres espèces phytoplanctoniques lorsque leur croissance et leur diversité sont perturbées et affaiblies par la modification des conditions environnementales. Ces algues possèdent également de nombreuses propriétés qui déterminent en partie leur abondance relative au sein de la communauté phytoplanctonique. Cependant, les différents taxons de ce groupe phytoplanctonique présentent des différences écophysiologiques. Ainsi, même si différentes conditions environnementales sont responsables de la croissance des cyanobactéries, le comportement et la réponse spécifique de ces individus différeront plus ou moins entre les différents taxons.

Depuis les années 1970, l'importance des processus physiques sur les autres caractéristiques lacustres, chimiques, sédimentologiques et en particulier biologiques est de plus en plus reconnue (Pourriot & Meybeck 1995). Certaines conditions physiques propres au milieu pourraient donc favoriser l'apparition des cyanobactéries (Chorus & Bartram 1999). Ainsi, la profondeur de l'écosystème semble avoir une influence non négligeable sur l'apparition de certains genres cyanobactériens. Par exemple, certaines Chroococcales (comme *Synechococcus* et *Cyanodictyon*) ont la capacité de coloniser des lacs très grands, très peu productifs avec un épilimnion très profond. D'autre part, *Oscillatoria sp.* est une cyanobactérie filamenteuse qui a la faculté de dominer la communauté phytoplanctonique dans des lacs très productifs (Prescott 1973, Reynolds 1987).

Des études antérieures suggèrent que la stabilité de la colonne d'eau, la profondeur de mélange et la turbulence peuvent également influencer sur la présence de tel ou tel genre cyanobactérien. En effet, les brassages de la colonne d'eau affectent les interactions entre les espèces et peuvent modifier l'assemblage phytoplanctonique (Huisman & al. 2004). Par exemple, les lacs qui présentent de faibles turbulences avec une colonne d'eau relativement stable sont propices au développement des genres *Microcystis sp.* et *Anabaena sp.* (Ganf &

Olivier 1982). Dans le cas où l'écosystème présente une forte turbulence de la colonne d'eau (en particulier pour les lacs peu profonds et généralement non stratifiés), les cyanobactéries seront fréquemment dominées par d'autres groupes phytoplanctoniques si la zone de brassage est plus grande que la zone photique. Dans le cas où la zone de brassage est inférieure à la zone photique, des genres comme *Limnothrix sp.* et *Aphanizomenon sp.* semblent dominer l'assemblage phytoplanctonique (Steinberg & Hartmann 1988).

D'autres facteurs comme la lumière, la température, la concentration en éléments nutritifs, le pH et le CO₂ libre dans l'eau semblent avoir un impact direct sur la formation des efflorescences cyanobactériennes.

Ainsi, les cyanobactéries possèdent un mécanisme de captage de la lumière très efficace grâce à la présence de nombreux pigments spécifiques, en plus de la chlorophylle « a » qui représente leur principal mode de métabolisme énergétique. Lors de fortes intensités lumineuses, les cyanobactéries vont synthétiser des caroténoïdes spécifiques en grande quantité, pour protéger les cellules de la photoinhibition (Paerl & al. 1983). Par ailleurs, les cyanobactéries possèdent un métabolisme qui requière très peu d'énergie. Elles vont donc pouvoir maintenir un niveau de croissance relativement élevé même lorsque la turbidité de l'eau augmente, notamment lors de la présence de populations relativement denses de diatomées et d'algues vertes (Pourriot & Meybeck 1995). De plus, la majorité des cyanobactéries ayant la capacité de former des efflorescences possèdent des vacuoles gazeuses qui leur permettent de réguler leur position dans la colonne grâce à une flottabilité positive (en particulier celle-ci est stable) et de pouvoir ainsi s'accommoder des variations de l'intensité lumineuse (journalière et saisonnière) (Walsby & Reynolds 1980). Le nombre de vésicules et l'accumulation de molécules lourdes, ballast constitué de polysaccharides issus directement de la photosynthèse, conditionnent la densité de la cellule et sont régulés par la physiologie cellulaire. Il en résulte une adaptation de la densité cellulaire aux conditions ambiantes (le contenu gazeux est à la pression d'une atmosphère et doit toujours rester en équilibre avec le milieu environnant). Les cyanobactéries vont donc pouvoir se maintenir à la profondeur qui présente les conditions optimales de lumière (Reynolds &

Walsby 1975, Reynolds 1987).

Des études antérieures suggèrent que la température joue également un rôle dans le développement des espèces cyanobactériennes. On observe une croissance cyanobactérienne importante avec des températures supérieures à 25°C (Robarts & Zohary 1987). D'après Ghoram (1964), la température optimale pour la croissance cellulaire des cyanobactéries est 25°C. Pour d'autres auteurs la température optimale est plutôt de 18°C (Watanabe & Oishi 1985). En réalité on estime que les fleurs d'eau potentiellement toxiques peuvent particulièrement se développer entre 15 et 35°C (Baker & Bellifemine 2000). Ceci explique en partie que les efflorescences de cyanobactéries vont apparaître en priorité au cours de l'été et au début de l'automne dans les lacs tempérés et boréaux.

Les cyanobactéries ont également la capacité de faire des réserves d'azote et de phosphore (Olivier & Ganf 2000). Ainsi, grâce à leur capacité de réguler leur flottabilité, par la présence de vacuoles gazeuses, les cyanobactéries sont plus ou moins capables d'aller puiser les éléments nutritifs dans la colonne d'eau, puis de remonter avec des réserves à la profondeur optimale pour leur développement cellulaire (Walsby & Reynolds 1980). A l'heure actuelle, diverses études appuient le fait qu'un faible ratio N/P, favorise la dominance des cyanobactéries dans l'assemblage phytoplanc-tonique (Schindler 1978, Smith 1983, McQueen & Lean 1987). Globalement, on assume que les cyanobactéries ayant la capacité de fixer le N₂ (*Aphanizomenon sp.*, *Anabaena sp.*,...) vont être favoriser lorsque le ratio N/P est inférieur à 15 (représentatif d'un milieu limité en azote). Toutefois, différentes études affirment que l'apparition des efflorescences est plus généralement contrôlée par les apports absolus d'azote et de phosphore plutôt que par le rapport stœchiométrique entre ces deux éléments (Trimbee & Prepas 1987, Downing & al. 2001). D'une manière générale, les cyanobactéries n'ayant pas la capacité de fixer le N₂ vont être favorisées par la présence importante d'azote fixe (nitrate et ammonium).

1.3 Références :

Baker P.D. & Bellifemine D. 2000. Environmental influences on akinete germination of *Anabaena circinalis* and implications for management of cyanobacterial blooms. *Hydrobiologia*, 427 : 65-73.

Barghoorn E.S. & Tyler S.A. 1965. Microfossils from the gun flint. *Science*, 147.

Bourelly P. 1970. Les algues d'eau douce, initiation à la systématique. Tome III : les algues bleues et rouges. N. Boubée & cie, Paris.

Carmichael W.W. 1994. The toxins of cyanobacteria. *Sci Am.*, 270 : 78-86.

Chorus I. & Bartram J. 1999. Toxic cyanobacteria in water : a guide to their public health consequences, monitoring and management. World Health Organization, New York.

Cuddington K. & Leavitt P.R. 1999. An individual-based model of pigment flux in lakes : implications for organic biogeochemistry and paleoecology. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56: 1964-1977.

Dixit A.S., Roland I.H., Leavitt P.R., Quinlan R. & Smol J.P. 2000. Effects of sequential depositional basins on lake response to urban and agricultural pollution : a paleoecological analysis of the Qu'Appelle Valley, Saskatchewan, Canada. *Freshwat. Biol.* 43 : 319-337.

Downing J.A., Watson S.B. & McCauley E. 2001. Predicting cyanobacteria dominance in lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* : 58 : 1905-1908.

Duy T.N., Lam P.K.S., Shaw G.R. & Connell D.W. 2000. Toxicology and risk assessment of freshwater cyanobacterial (blue-green algae) toxins in water. *Rev. Environn. Cont. Toxicol.* 163 : 113-186.

Eilers J.M., Kann J., Cornett J., Moser K. & St Amand A. 2004. Paleolimnological evidence of change in a shallow, hypereutrophic lake : Upper Klamath Lake, Oregon, USA. *Hydrobiologia* 520: 7-18.

Engstrom D.R., Swain E.B. & Kingston J.C. 1985. A paleolimnological record of human disturbance from Harvey's lake, Vermont : geochemistry, pigments et diatoms. *Fresh. Biol.*, 15 : 261-288.

Fogg G.E., Stewart W.D., Fay P. & Walsby A.E. 1973. *The Blue-Green Algae*. Academic Press, London and New York.

Ganf G.G. & Oliver R.L. 1982. Vertical separation of light and available nutrients as a factor causing replacement of green algae by blue-green algae in the plankton of a stratified lake. *J. Ecol.* 70 : 829-844.

Ghoram P.R. 1964. Toxic algae. In : *Algae and Man*. Jackson (eds), Plenum Press. New York, pp : 307-336.

Goodwind T.W. 1965. *Chemistry and Biochemistry of Plant Pigment*, Acad. Press. New-York.

Hall R.I., Leavitt P.R., Smol J.P. & Zimhelts N. 1997. Comparison of diatoms, fossil pigments and historical records as measures of lake eutrophication. *Fresh. Biol.* 38: 401-417.

Head R.M., Jones R.I. & Bailey-watts A.E. 1999. An assesement of the influence of recrutement from the sediment on the development of planktonic populations of cyanobacteria in a temperate mesotrophic lake. *Fresh. Biol.* 41 : 759-769.

Hori K., Ishii S., Okamoto J., Tanji Y., Weeraphasphong C. & Unno H. 2002. Behavior of filamentous *Anabaena* spp. in water column and its cellular characteristics. *Biochemi. Engineer. J.*, 10 : 217-225.

Huisman, J., Sharples, J., Stroom, J.M., Vissier, P.M., Edwin A. Kardinaal, W., Verspagen J.M. & Sommeijer B. 2004. Changes in turbulent mixing shift for light between phytoplankton species. *Ecology* 85 : 2960-2970.

Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C & Wright, S.W. 1997. *Phytoplankton pigments in oceanography*. Unesco publishing. Paris.

Leavitt, P.R. & Findlay D.L. 1994. Comparison of fossil pigments with 20 years of phytoplankton data from eutrophic lake 227, Experimental lakes area, Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 2286-2299.

McQueen D.J. & Lean D.R.S. 1987. Influence of water temperature and nitrogen to phosphorus ratios on the dominance of blue-green algae in Lake St. George, Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44 : 598-604.

Olivier R.L. & Ganf G.G. 2000. Freshwater blooms. In: *The Ecology of Cyanobacteria*. Whitton & Potts (eds), Kluwer academic, Amsterdam, pp : 94-149.

Paerl H.W. 1988. Growth and reproductive strategies of blue-green algae (Cyanobacteria). In: *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Sandgren (eds). Cambridge university Press, Cambridge, pp: 261-315.

Paerl H.W., Tucker J. & Bland P.T. 1983. Carotenoid enhancement and its role in maintaining blue-green (*Microcystis aeruginosa*) surface blooms. *Limnol. Oceanogr.*, 28 : 847-857.

Pourriot R. & Meybeck M. 1995. *Limonologie générale*. Collection écologie. Masson, Paris.

Prescott G.W. 1973. *Algae of the Western Great Lakes area*. Otto Koeltz (eds) Science Publishers, Koenigstein, Germany.

Rasänen J., Kauppila T. & Vuorio K. 2006. Sediment and phytoplankton records of the cyanobacterial genus *Anabaena* in boreal Lake Pyhäjärvi. *Hydrobiologia* 568 : 455-465.

Rengefors, K., Gustafsson, S. & Stahl-Delbanco A. 2004. Factors regulating the recruitment of cyanobacterial and eukaryotic phytoplankton from littoral and profundal sediments. *Aquat. Microb. Ecol.*, 36 : 213-226.

Reynolds C.S. 1987. Cyanobacterial Water-blooms. *Adv. in Botanical Res.* 13 : 67-143.

Reynolds C.S. & Walsby A.E. 1975. Water-blooms. *Biol. Rev.* 50 : 437-481.

Roberts R.S. & Zohary T. 1987. Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration and growth rates of bloom-forming cyanobacteria. *New Zealand J. marine freshwat. Res.*, 21 : 391-399.

Schindler D.W. 1978. Factors regulating phytoplankton production and standing crop in the world's freshwaters. *Limnol. Oceanogr.* 23 : 478-486.

Smith V.H. 1983. Low nitrogen to phosphorus ratios favour dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science*, 221 : 669-671

Steinberg C.E. & Hartmann H.M. 1988. Planktonic bloom-forming cyanobacteria and the eutrophication of lakes and rivers. *Fresh. Biol.* 20 :279-287.

Stewart, W.D., Haystead, A., & Pearson H.W. 1969. Nitrogenase activity in heterocysts of blue-green algae. *Nature*, 224 : 226-228.

Stewart W.D. & Lex, M. 1970. Nitrogenase activity in the blue-green alga, *Plectonema boryanum* strain 594. *Arch. Mikrobiol.* 73: 250-260.

Trimbee A.M. & Prepas E.E. 1987. Evaluation of total phosphorus as a predictor of relative biomass of blue-green algae with emphasis on Alberta lakes. *Can. J. Fis. Aquat. Sci.*, 44 : 1337-1342.

Van Den Hoek C., Mann D.G. & Jahns H.M. 1995. *Algae : An introduction to phycology*. Cambridge University Press. Cambridge

Van Geel B., Mur L.R., Ralska-Jasiewiczowa M. & Goslar T. 1994. Fossil akinetes of *Aphanizomenon* and *Anabaena* as indicators for medieval phosphate-eutrophication of lake Gosciaz (Central Poland). *Rev. Paleobot. Palynol.* 83 : 97-105.

Walsby A.E. 1992. The control of gas-vacuolate Cyanobacteria. In : *Eutrophication: Research and application to water supply*. Sutcliffe & Jones (eds). Freshwater biological association. London, pp: 150-162.

Walsby A.E. & Reynolds C.S. 1980. Sinking and floating. In : Physiological ecology of phytoplankton, Studies in Ecology 7. Morris (eds). Blackwell. Oxford, pp : 437-481.

Watanabae M.F. & Oishi S. 1985. Effect of environmental factors on toxicity of a cyanobacterium (*Microcystis aeruginosa*). Appl. Environn. Microbiol. 49 : 1342-1344.

Whitton B.A., Sinclair C. 1975. Ecology of blue-green algae. Sci. Prog. Oxford. 62 : 429-446.

Wyatt, J.T. & Silvey, J.K.. 1969. Nitrogen fixation by *Gloeocapsa*. Science, 165 : 908-909.

Chapitre II :

RECRUTEMENT DES POPULATIONS CYANOBACTÉRIENNES AU NIVEAU DES SÉDIMENTS SUPERFICIELS : IMPORTANCE DE L'INOCULUM LITTORAL ET PROFOND

Par

Alexandre Blin¹, Dolors Planas¹ et Moritz Lehmann².

¹ GEOPTOP-UQAM-McGill, Université du Québec à Montréal,
201 Président Kennedy, Montréal Qc., H2X 3Y7

² Institute for Environmental Geoscience, Universität Basel
CH-4056 Basel

Le prélèvement et l'analyse des échantillons, ainsi que la rédaction de ce chapitre ont été réalisés par A. Blin. L'ensemble de ces étapes ont été supervisées par D. Planas et M. Lehmann.

RÉSUMÉ :

De nos jours, les efflorescences de cyanobactéries toxiques sont de plus en plus recensées dans les écosystèmes lacustres du sud du Québec. Afin d'améliorer notre compréhension sur le fonctionnement de ces phénomènes et de déterminer s'il existe une zone principale pour le recrutement benthique des populations cyanobactériennes, nous avons réalisé un échantillonnage spatio-temporel du phytoplancton dans la colonne d'eau ainsi qu'un dénombrement des « banques de réserve » en akinètes au niveau des sédiments superficiels. Nos résultats montrent la succession de trois espèces cyanobactériennes productrices d'akinètes et potentiellement toxiques dans la colonne d'eau. Ces espèces représentent jusqu'à 60% de la biomasse relative du phytoplancton en période de bloom. Nous avons identifié la phase de germination initiale d'*Anabaena planctonica*. L'importance de la « seed bank » en akinètes au niveau de la zone littorale et profonde pour cette espèce est équivalente. D'autre part, le développement benthique initial d'*A. planctonica* est presque similaire pour les deux sites d'études (Station littorale : 14031 ± 2339 cellules/l; Station profonde : 16629 ± 1962 cellules/l), indiquant que les akinètes peuvent germer à la noirceur lorsque les autres conditions environnementales sont adéquates (par exemple une température assez élevée). Ces résultats semblent appuyer l'hypothèse qu'il n'existe pas une zone privilégiée de recrutement au niveau des sédiments superficiels et par conséquent qu'une distribution uniforme des akinètes au niveau de l'interface eau-sédiment accroît les chances d'apparition des efflorescences cyanobactériennes pélagiques.

Mots clés : Cyanobactéries, akinètes, interface eau-sédiment, zone littorale et profonde.

2.1 Introduction :

Présentement, on sait que de nombreuses espèces phytoplanctoniques ont un cycle de vie incluant une phase benthique de latence et une phase de croissance pélagique (Fryxell 1983). Par conséquent, l'accumulation de formes de résistance dans les sédiments est un phénomène assez fréquent chez les algues pélagiques (Fryxell 1983). L'étude des blooms phytoplanctoniques saisonniers doit donc prendre en compte le rôle que peuvent jouer les cellules de résistance benthiques en plus de la variation des concentrations en nutriments, de la température, de la stratification de la colonne ou de la prédation (Rengefors & al. 2004). D'autre part, de nombreuses cyanobactéries planctoniques appartenant aux Nostocales et aux Rivulariaceae produisent des cellules de résistances que l'on appelle des akinètes (Paerl 1988), qui peuvent sédimenter au niveau des sédiments superficiels. Les akinètes sont des cellules différenciées morphologiquement et physiologiquement des autres cellules végétatives, qui peuvent perdurer pendant de nombreuses années dans les sédiments (Reynolds 1987). Les sédiments des lacs qui présentent périodiquement de larges populations de cyanobactéries planctoniques, sont propices à présenter une grande quantité de cellules de résistance à l'interface eau-sédiment (Takamura & al. 1984, Barbiero & Welch 1992). Cette « banque de réserve » va pouvoir représenter un inoculum pour la croissance planctonique et contribuer significativement à la taille de la population pélagique (Barbiero & Welch 1992, Head & al. 1999). En effet, sous l'impact de certaines conditions environnementales précises, les akinètes vont se dépouiller de leur membrane et vont germer en un nouveau filament qui va pouvoir croître dans la colonne d'eau.

Différentes études ont montré un recrutement actif des cyanobactéries, des sédiments superficiels vers la colonne d'eau (Trimbee & Harris 1984, Barbiero & Welch 1992, Hansson 1996). Cependant, on retrouve à l'heure actuelle des théories contradictoires dans la littérature pour savoir s'il existe une zone unique de recrutement des populations cyanobactériennes, au sein des écosystèmes lacustres. Diverses recherches ont montré que le recrutement benthique des cyanobactéries semble être surtout localisé au niveau de la zone littorale (Head & al. 1999, Brunberg & Blomqvist 2003, Karlsson 2003). Néanmoins, il

apparaît que la zone littorale et profonde d'un lac peuvent contenir une banque de réserve en cellules de résistances, à l'interface eau-sédiment (Rengefors & al. 2004).

Le but de cette étude est d'identifier s'il existe un site prioritaire pour l'éventuel recrutement benthique cyanobactérien et de montrer que la zone littorale n'est pas le site exclusif de ce recrutement potentiel. En effet, le nombre important de cellules de résistances cyanobactériennes que l'on retrouve au niveau des sédiments de la zone profonde, pourrait constituer un inoculum pour le développement des populations pélagiques, si les conditions environnementales appropriées à la germination sont réunies. Afin de tester cette hypothèse, nous avons étudié l'abondance des akinètes au niveau des sédiments superficiels, l'abondance des cyanobactéries ainsi que certains paramètres physico-chimiques dans la colonne d'eau, dans le but de mieux comprendre les conditions qui favorisent l'apparition des fleurs d'eau cyanobactériennes tout comme le rôle que joue potentiellement les cellules de résistances dans le développement de ce phénomène.

2.2 Matériel et Méthode :

2.2.1 Site d'étude :

Les échantillons ont été prélevés au lac Brome. Ce lac présente, depuis les années 1990, un problème de qualité de l'eau lié à un développement cyanobactérien excessif qui se manifeste lors de blooms estivaux ou automnaux. Cet écosystème situé au sud du Québec, Canada (45°15'N, 72°30'W), a une superficie de 14.6 km², une profondeur moyenne de 5,8 m et une profondeur maximale de 12,8 m.

2.2.2 Échantillonnage de la colonne d'eau et analyses :

Nous avons échantillonné deux stations mensuellement, de juillet à septembre 2005 : une station littorale (4 mètres : 45°16' 513N, 72°30'389W) et une station profonde (12.5 mètres : 45°14'465N, 72°30'996W).

Les échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide d'une bouteille Van Dorn à des profondeurs discrètes. Nous avons échantillonné à quatre profondeurs différentes pour la station profonde (0m, 3m, 6 ou 7m, 11m) et à deux profondeurs pour la station littorale (0m et 3,5m). Aux deux stations, des profils de lumière transmise (quantimètre Licor L-1400, sonde air LI-190SA et sonde eau sphérique LI-193SA), de température et d'oxygène (YSI Model 58), ont été mesurés *in situ*. L'intensité lumineuse a été mesurée tous les 0.5m jusqu'à la limite de la zone photique. À partir de ces mesures de lumière transmise, nous avons calculé le coefficient d'extinction lumineuse en utilisant l'équation suivante :

$$K_d = (\ln I_0 - \ln I_z)/z$$

(I_0 = intensité lumineuse à la surface, I_z = intensité lumineuse à la profondeur z , z = profondeur en mètre), (Kalff 2002).

Nous avons effectués des analyses d'éléments nutritifs pour le phosphore (P) et l'azote (N). L'eau a été préfiltré sur le terrain à l'aide de filtres millipores de 0,45µm pour l'analyse du phosphore total dissous (PTD) et des nitrates-nitrites ($\text{NO}_3\text{-NO}_2$). Des sous-échantillons d'eau filtrés et non filtrés, ont été placés dans des tubes calibrés (environ 50ml) pour les analyses d'éléments nutritifs (PT, PTD, NT et $\text{NO}_3\text{-NO}_2$). L'ensemble des tubes ont été réfrigérés avant leur analyse. Les échantillons de PT, PTD et de NT ont été oxydés au persulfate. Les analyses colorimétriques de tous les nutriments ont été réalisées à l'aide d'un autoanalyseur Alpkem.

Pour les analyses de chlorophylle « *a* », des sous échantillons d'eau (300 à 500ml) ont été filtrés sur des filtres GF/F (47 mm de diamètre). Les filtres ont été conservés à -80°C jusqu'à l'extraction. L'extraction de la chlorophylle « *a* » a été réalisée à l'éthanol bouillant (Nusch 1980), ce qui dénature notamment la chlorophyllase. Les extraits obtenus ont été filtrés sur des filtres de 0,45µm pour éliminer les impuretés causant la turbidité. Les concentrations en chlorophylle « *a* » ont été estimées par spectrophotométrie et corrigées pour les phaeopigments par acidification (Sartory & Grobbelaar 1984).

Des sous échantillons d'eau ont également été conservés dans le lugol pour effectuer un dénombrement du phytoplancton, selon la méthode d'Utermöhl (Utermöhl 1958), à l'aide d'un microscope inversé (Leica DM IRB). Les espèces d'algues ont été identifiées et comptées à un fort grossissement (400x), jusqu'à ce qu'aucune nouvelle espèce ne soit retrouvée au bout de cinq champs consécutifs. Par la suite, la lame a été balayée à un grossissement 10x pour identifier les espèces rares. L'identification a été effectuée jusqu'à l'espèce dans la mesure du possible. Les dimensions des cellules (longueur, largeur et épaisseur en µm) seront mesurées au hasard sur plusieurs spécimens et les biovolumes spécifiques calculés suivant Lewis, (1976).

2.2.3 Prélèvements de sédiments et analyses :

Des carottes de sédiments ont été prélevées en plonge à l'aide d'un carottier aux deux sites d'études, au mois de juillet. Seuls les sédiments superficiels (0-1 cm) ont été conservés. Au laboratoire, une quantité de sédiment humide a été mis en suspens dans de l'eau distillée pour arriver à une concentration de 0,02g de sédiment humide/ml (Tsujimura 2004). Ces échantillons ont été fixés au lugol jusqu'au dénombrement. Des aliquots de ces échantillons (des triplicats pour chaque carotte), ont été sédimentés et l'ensemble des akinètes non germées présent sur la lame a été compté à l'aide d'un microscope inversé (Leica DM IRB).

2.2.4 Analyses statistiques :

Les variations spatio-temporelles des espèces phytoplanctoniques dominantes ont été analysées par des « repeated time Analysis » à l'aide du logiciel statistique JMP in 5.0.

2.3 Résultats :

2.3.1 Données physico-chimiques :

Les profils de température ont été constants à la station littorale lors de la saison d'échantillonnage, avec une température supérieure à 20°C (Tab. 2.1). Pour la station profonde, la colonne d'eau est stratifiée et la thermocline se situe entre 6 et 8 m de juillet à septembre (Fig. 2.1); la température à l'épilimnion est supérieure à 20°C et elle est proche de 15°C au niveau de l'hypolimnion (Tab. 2.1). La zone photique s'arrête aux alentours de 7 mètres (fig. 2.1). D'autre part, le coefficient d'extinction lumineuse varie entre 0,67 et 1,6m⁻¹ pour la station littorale et 0,69 et 1,12 m⁻¹ pour la station profonde. La concentration en oxygène est constante à la station littorale à l'exception du 9 septembre (de 7 à 11mg/l). Pour la station profonde, on observe un appauvrissement important de l'O₂ au niveau de l'hypolimnion (Tab. 2.1, fig. 2.1).

A la station littorale, la concentration en PT est plus élevée en profondeur qu'en surface à l'exception du mois de septembre (Tab. 2.2). Pour la station profonde, on observe une diminution des concentrations en phosphore total du métalimnion vers épilimnion, de juillet à août (sauf en surface au mois d'août). Pendant cette période, on observe une augmentation importante des concentrations hypolimnétiques. A partir du mois de septembre, les concentrations en phosphore totale sont plus ou moins homogènes sur l'ensemble de la colonne d'eau (autour de 20µg/l), (Tab. 2.2).

A la station littorale, la concentration en NT est relativement constante sur l'ensemble de la colonne d'eau (Tab. 2.3). Pour la station profonde, les concentrations en NT ne présentent pas de grandes fluctuations. Les mesures sont pour la plupart comprises entre 300 et 400µg/l pour l'ensemble de la colonne d'eau. On observe tout de même une augmentation de la concentration en NT de juillet à septembre au niveau de l'hypolimnion (de 237 à 389µg/l; tab 2.3).

Tableau 2.1 : Données physico-chimiques :

Date	Température(°C)		O ₂ (mg/l)		Coefficient d'extinction lumineuse (m ⁻¹)	
	Station littorale	Station profonde	Station littorale	Station profonde	Station littorale	Station profonde
23/07 2005	26	Tmax= 26 min= 17	8	Max= 9,5 Min= 0,6	0,67	0,69
05/08 2005	26	Tmax= 25 Min= 15	9	Max= 9,3 Min= 0,16	0,80	0,86
09/09 2005	21	Tmax= 21 Tmin= 15	Max= 11 Min= 7	Max= 11,7 Min= NA	1,6	1,12

NA : non analysé

Figure 2.1

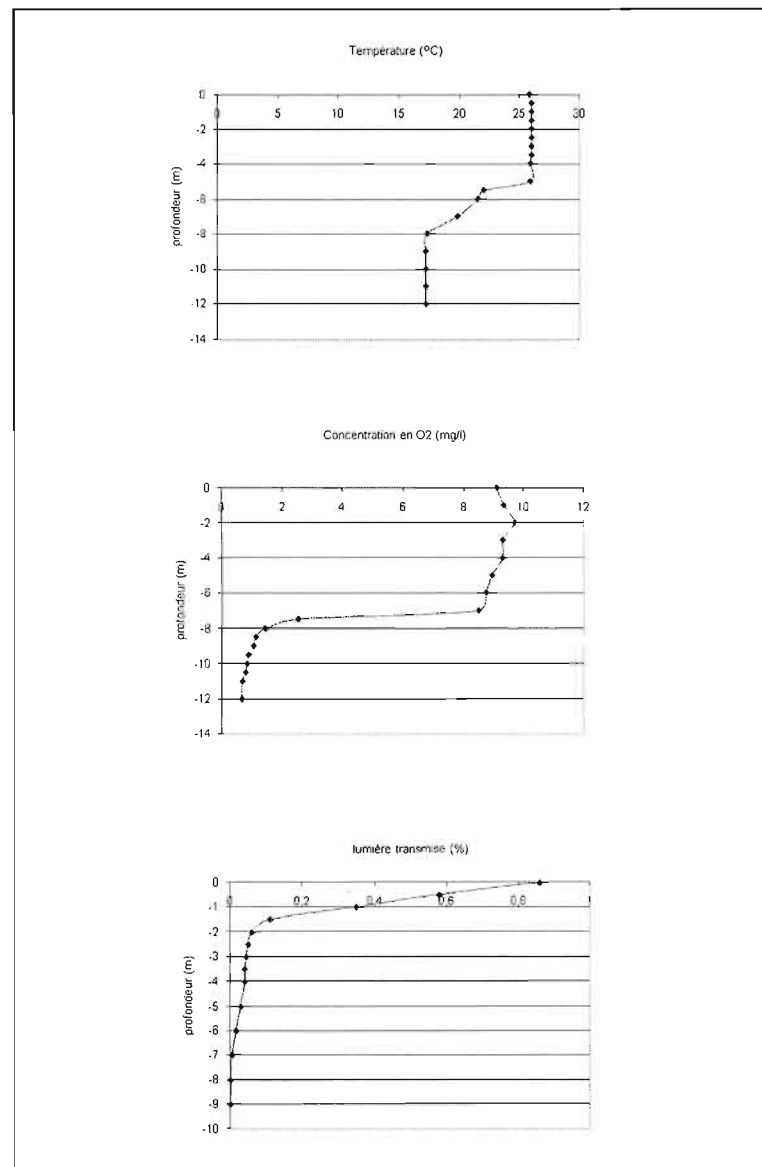


Fig. 2.1 : Exemple de profils de température, d'oxygène et de lumière pour la station profonde (23 juillet 2005).

Tableau 2.2 : Dosage du phosphore : PT et PTD (en $\mu\text{g/l}$) :

	23 juillet 2005		5 août 2005		9 septembre 2005	
	PT	PTD	PT	PTD	PT	PTD
Station profonde						
surface	16,53	7,01	13,62	5,86	15,18	4,69
epilimnion	18,81	6,76	11,91	5,59	24,87	5,49
métalimnion	23,37	7,15	12,17	6,25	25,27	4,82
hypolimnion	34,36	5,67	53,37	3,62	23,81	5,22
Station littorale						
Surface	15,86	7,15	13,75	5,73	17,04	7,34
fond	18,28	8,49	22,97	5,86	15,78	6,35

Tableau 2.3 : Dosage de l'azote : NT et NO₂-NO₃ (en µg/l) :

	23 juillet 2005		5 août 2005		9 septembre 2005	
	NT	NO ₃ -NO ₂	NT	NO ₃ -NO ₂	NT	NO ₃ -NO ₂
Station profonde						
surface	305	15	457	7	289	14
epilimnion	352	41	274	6	321	14
métalimnion	343	14	295	8	419	14
hypolimnion	237	15	375	8	389	12
Station littorale						
Surface	383	5	297	11	333	11
fond	334	14	320	10	306	9

2.3.2 Données biologiques :

La concentration en chlorophylle « *a* » augmente progressivement pour les deux sites d'étude, de juillet à septembre. Pour la station littorale, la concentration est plus ou moins constante sur l'ensemble de la colonne d'eau (fig. 2.2a). Cette concentration varie de 12,5µg/l en moyenne au mois de juillet à 21,9µg/l au mois de septembre. On retrouve la même tendance pour la station profonde. La concentration passe de 15,5µg/l en moyenne au mois de juillet à 22µg/l en septembre. Pour la station profonde, on observe cependant une plus grande hétérogénéité le long de la colonne d'eau. La concentration au niveau de l'épilimnion est relativement constante, avec une légère diminution en surface à l'exception du mois de juillet. On observe un pic métalimnétique pour les trois dates d'échantillonnage et une décroissance hypolimnétique (fig. 2.2b).

Figure 2.2

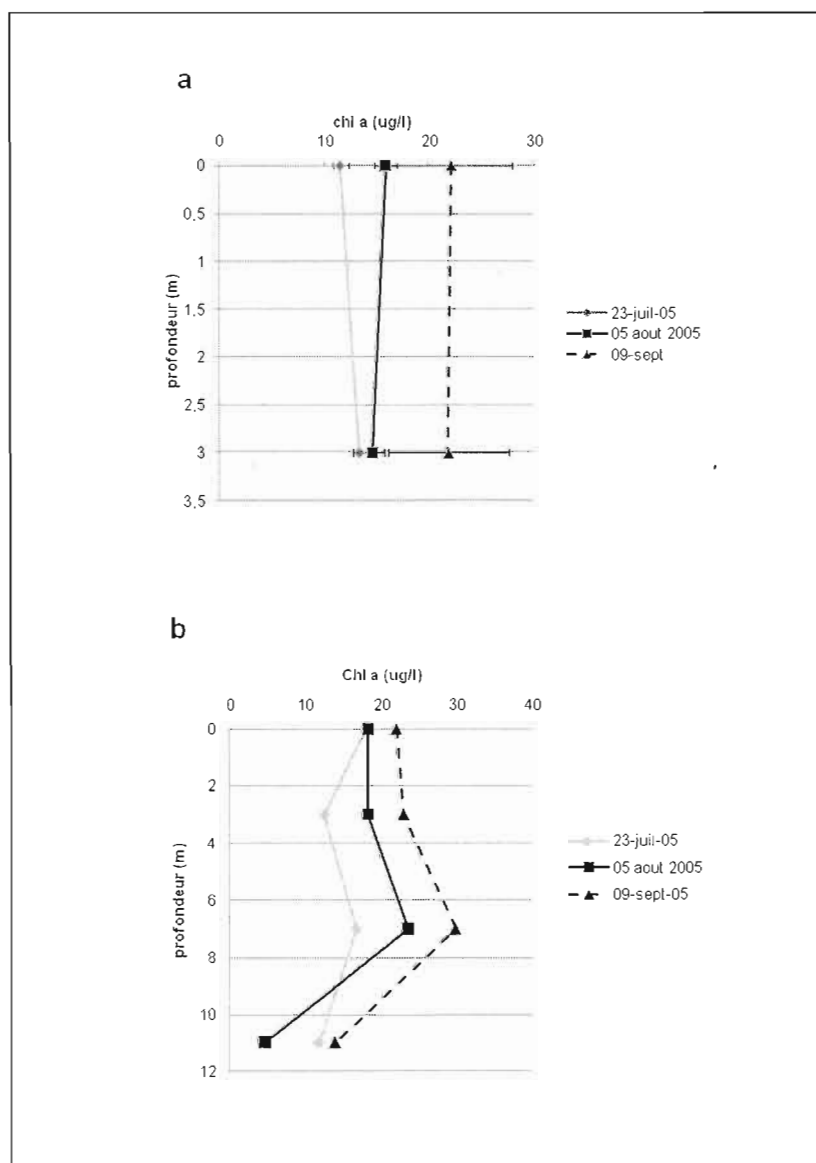


Fig. 2.2 : Évolution spatio-temporelle de la chlorophylle « a » : station littorale (a) et station profonde (b) :

2.3.3 Composition du phytoplancton :

En juillet, les chrysophyceae dominant l'assemblage phytoplanctonique à la station littorale. De début août à début septembre, l'assemblage phytoplanctonique est dominé par les cyanobactéries, en particulier les Nostocales. Les cyanobactéries représentent jusqu'à 60% de la biomasse relative du phytoplancton pour cette station (Fig. 2.3).

En juillet, à la station profonde, on observe une dominance des chrysophyceae au niveau de l'épilimnion, une domination des Nostocales au métalimnion et une dominance des diatomées à l'hypolimnion (Fig. 2.4). Début août, à la station profonde, les cyanobactéries dominant sur l'ensemble la colonne d'eau, avec près de 40% de la biomasse relative (Fig. 2.4). Début septembre, les cyanobactéries Nostocales dominant sur toute la colonne d'eau avec près de 50% de la biomasse relative.

Figure 2.3

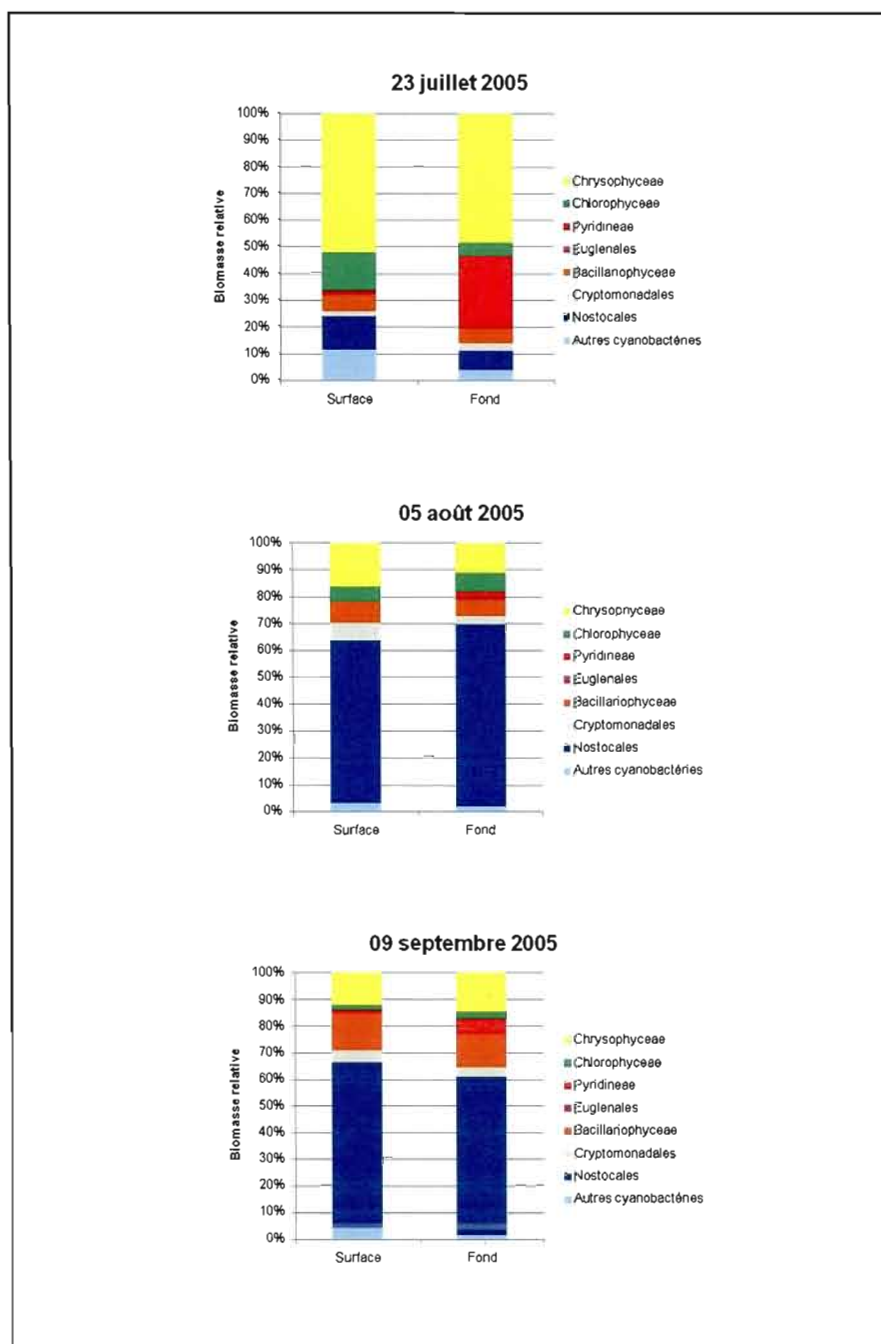


Fig. 2.3 : Biomasse relative des grands groupes phytoplanctoniques : Station littorale

Figure 2.4

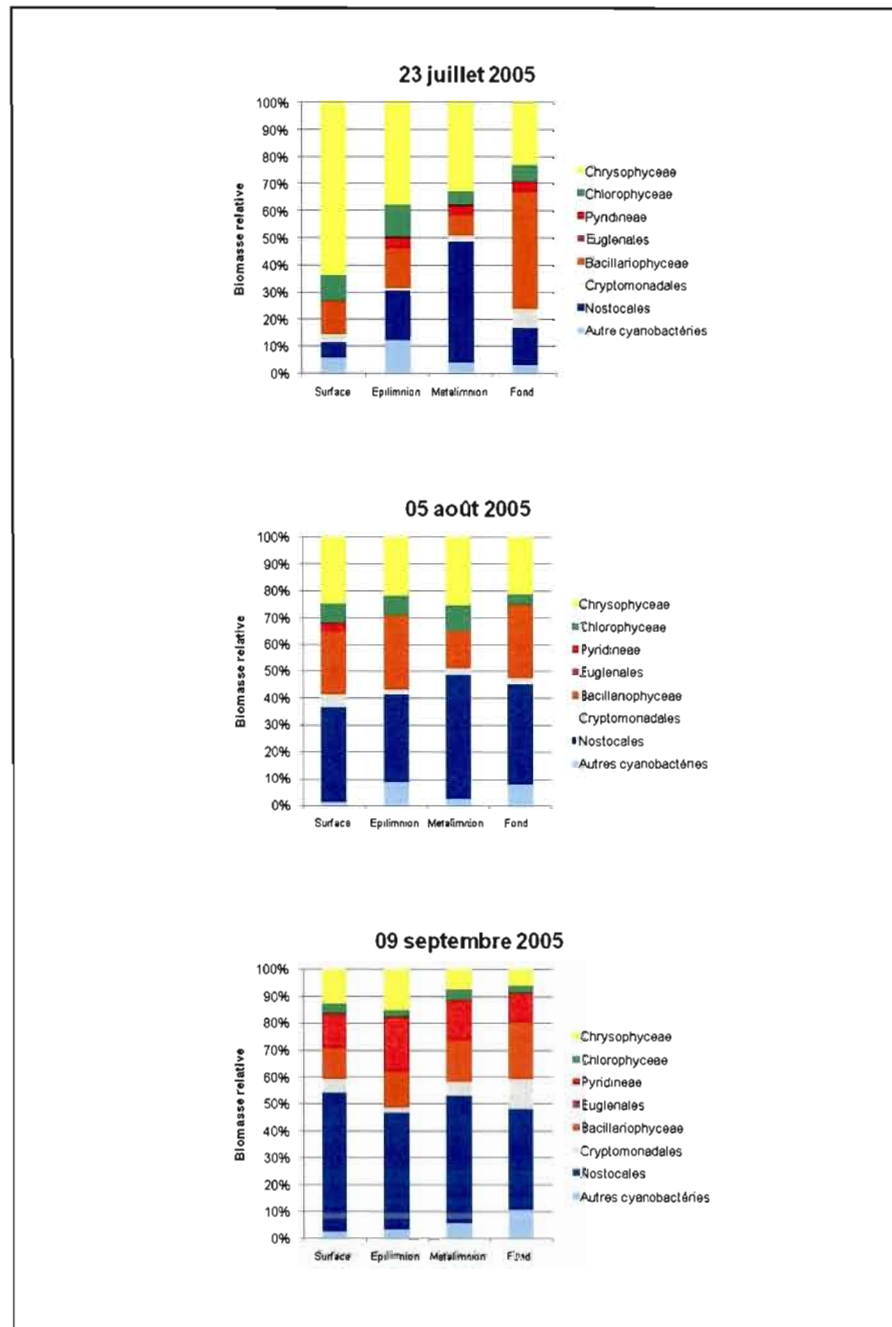


Fig. 2.4 : Biomasse relative des grands groupes phytoplanctoniques : Station Profonde

2.3.4 Variation spatio-temporelle des espèces cyanobactériennes dominantes :

La communauté phytoplanctonique du lac Brome, au cours de l'été 2005, a été dominée principalement par trois espèces de cyanobactéries potentiellement toxiques, ayant la capacité de produire des akinètes: *Anabaena flos aquae*, *Aphanizomenon flos aquae* et *Anabaena planctonica* (ordre des Nostocales, famille des Nostocacées). On retrouve cependant d'autres espèces cyanobactériennes potentiellement toxiques (par exemple *Oscillatoria sp.*, *Microcystis sp.*), mais en abondance beaucoup plus faible (Appendice III : Dénombrement algal 2005).

D'autre part, on observe une succession des espèces cyanobactériennes dominantes. *Anabaena flos aquae* domine l'assemblage phytoplanctonique au mois d'août aux deux stations. Ensuite, on observe une dominance d'*Aphanizomenon flos aquae* au mois de septembre pour les deux sites (fig. 2.5, 2.6, 2.7).

Pour *Anabaena flos aquae*, les analyses de « repeated time analysis » montrent que l'on a une variation dans le temps et l'espace pour les deux stations (Station littorale : temps : $p < 0,0001$; profondeur : $p = 0,0029$; station profonde : temps : $p < 0,0001$; profondeur : $p < 0,0001$), (Fig. 2.5). Les données d'abondance intégrée du mois juillet montrent qu'*Anabaena flos aquae* est déjà largement présente dans la colonne d'eau aux deux sites. Cette espèce connaît son maximum d'abondance début août. On observe par la suite une décroissance de son abondance aux deux stations (Fig. 2.5).

Les analyses statistiques pour *Aphanizomenon flos aquae* montrent un effet du temps ($p < 0,0001$) mais pas de l'espace ($p = 0,4318$) pour la station littorale (Fig. 2.6). En outre, on retrouve un effet du temps ($p < 0,0001$) et de l'espace ($p = 0,0007$) pour la station profonde (Fig. 2.6). Les données d'abondance intégrée montrent que cette espèce est déjà en phase de croissance active pour les deux stations à partir de fin juillet. L'abondance de cette espèce est

relativement stable fin juillet et début août (Fig. 2.6). Elle connaît son maximum d'abondance début septembre pour les deux sites.

Pour *Anabaena planctonica*, on a effet de la variable temps ($p < 0,0001$) mais pas de la profondeur ($p = 0,2359$) pour la station littorale et un effet du temps ($p < 0,0001$) et de la profondeur ($p = 0,0214$) pour la station profonde (Fig. 2.7). Cette espèce est uniquement présente en profondeur à la station littorale en juillet. A cette date, elle est totalement absente à la station profonde (fig 2.7). Début août, *Anabaena planctonica* est présente sur l'ensemble de la colonne d'eau pour les deux sites. Cette espèce connaît son pic d'abondance en septembre aux deux stations.

Figure 2.5

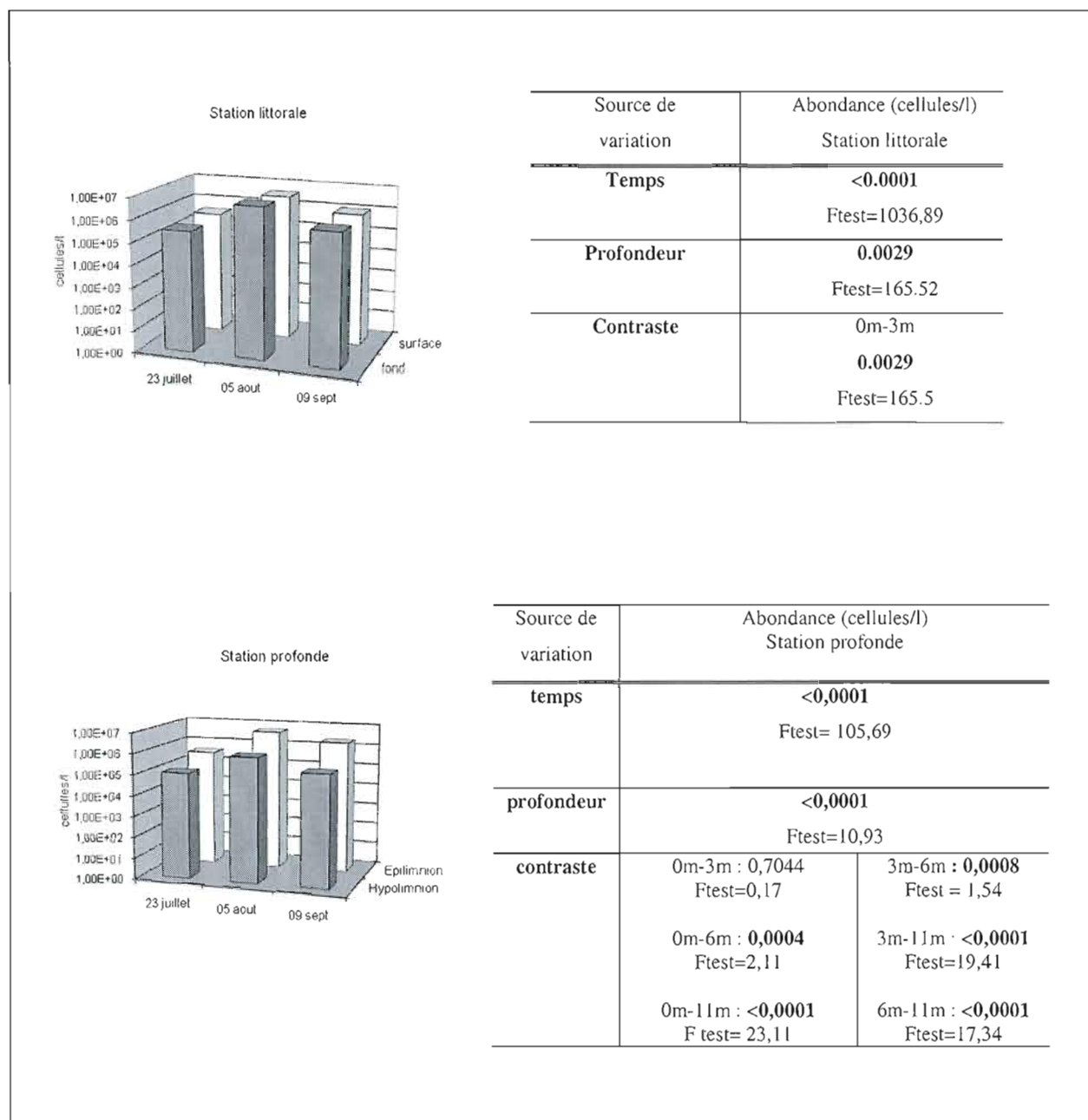


Fig. 2.5 : variation spatio-temporelle d'*Anabaena flos aquae* : Abondance intégrée (cellules/l) en surface et en profondeur, test de « Repeated time analysis ».

Figure 2.6

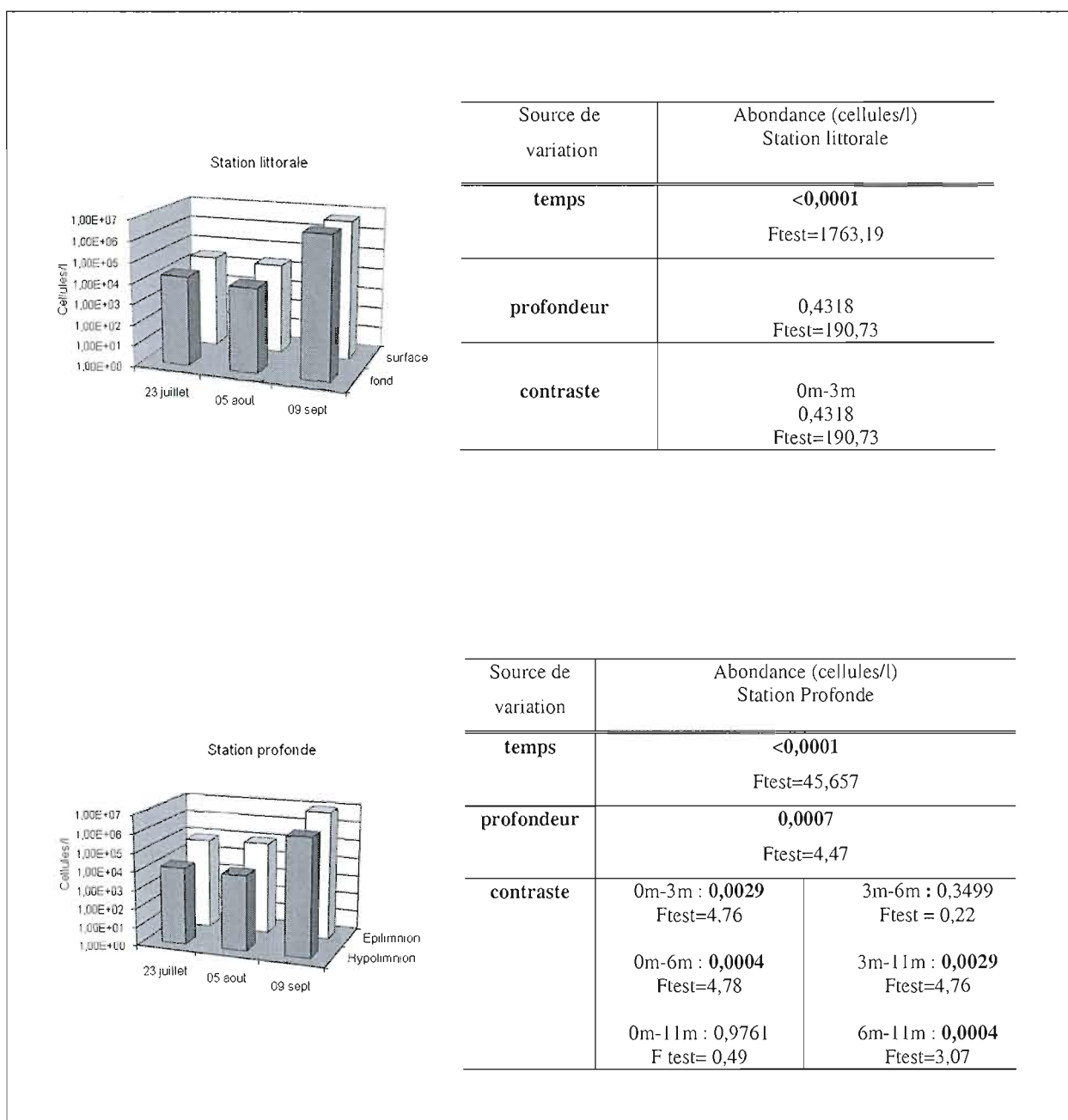


Fig. 2.6 : variation spatio-temporelle d'*Aphanizomenon flos aquae* : Abondance intégrée (cellules/l) en surface et en profondeur, test de « Repeated time analysis ».

Figure 2.7

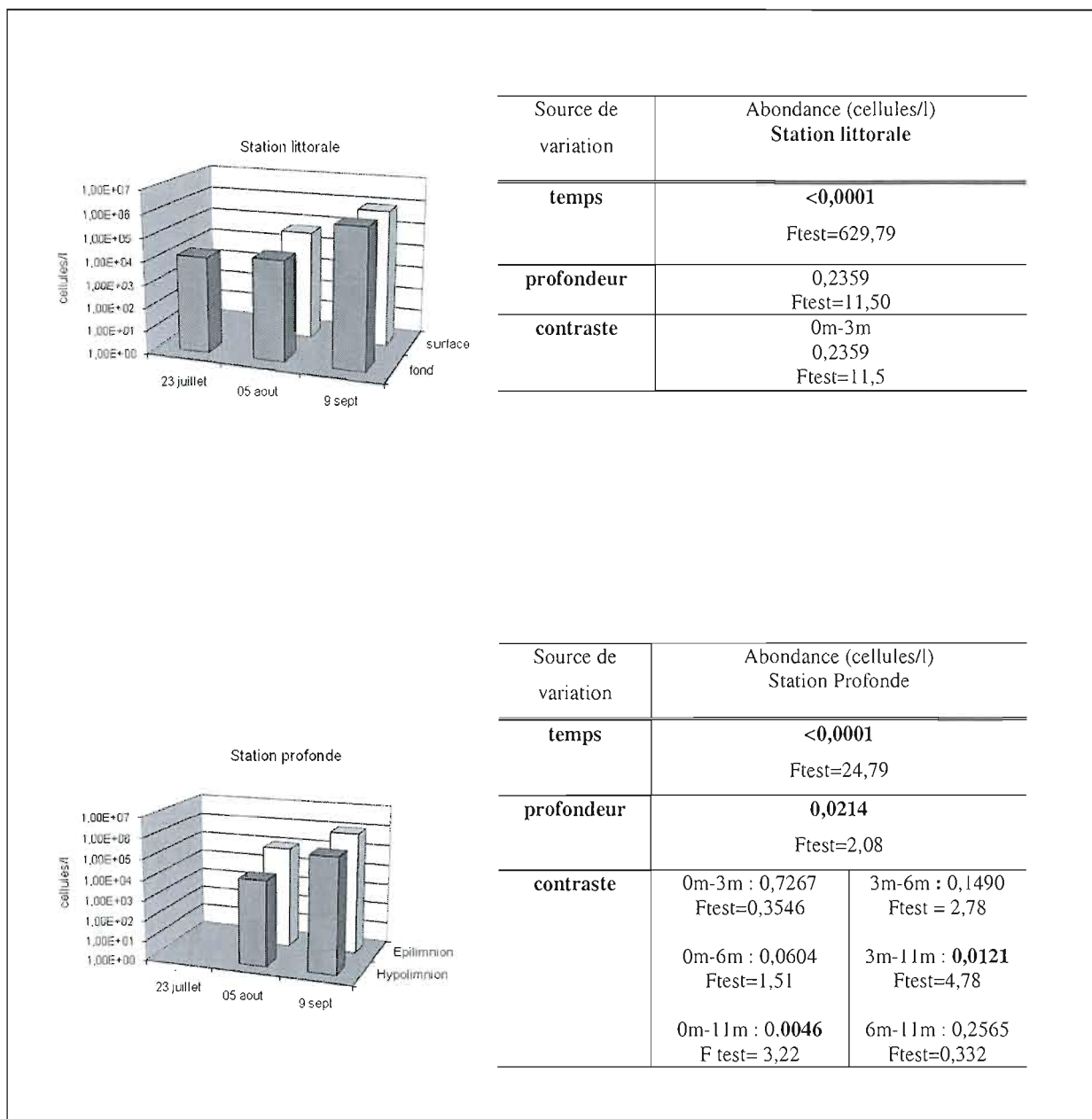


Fig. 2.7 : variation spatio-temporelle d'*Anabaena planctonica* : Abondance intégrée (cellules/l) en surface et en profondeur, test de « Repeated time analysis ».

2.3.5 Abondance des akinètes au niveau des sédiments superficiels :

Les sédiments superficiels (premier centimètre), prélevés fin juillet, présentent des akinètes non germées aussi bien à la station littorale que profonde.

A la station littorale, on retrouve les akinètes des trois espèces dominant l'assemblage phytoplanctonique au cours de la saison d'échantillonnage (Fig. 2.8a, Fig. 2.9). A la station profonde, on dénombre uniquement les akinètes caractéristiques d'*Anabaena flos aquae* et *Anabaena planctonica* (Fig. 2.8b, Fig. 2.9).

Aux deux stations, ce sont les akinètes d'*Anabaena sp.* qui sont les plus nombreuses.

Figure 2.8

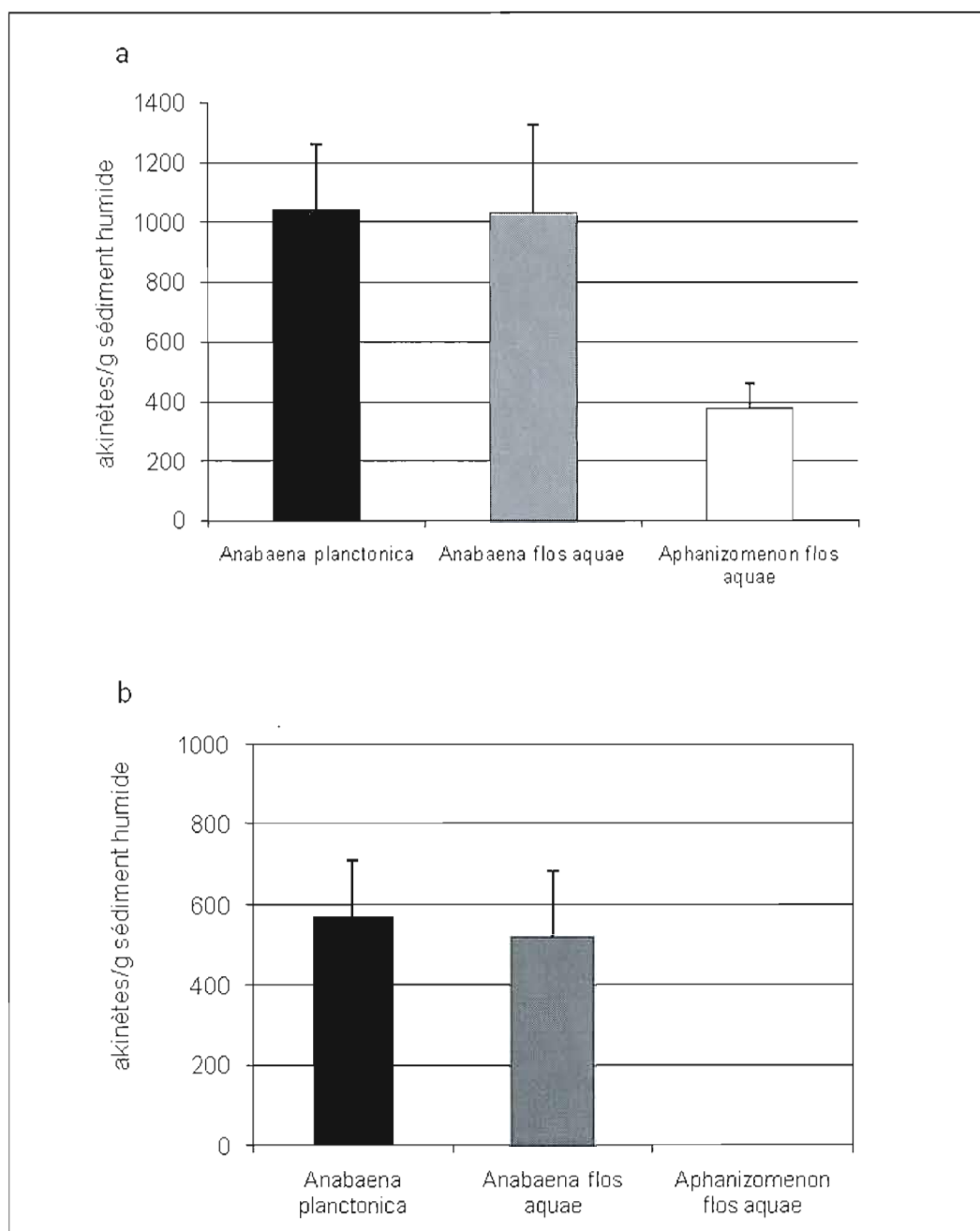


Fig. 2.8 : Abondance des akinètes dans les sédiments superficiels au mois de juillet (0-1cm) : (a) station littorale ; (b) station profonde.

Figure 2.9

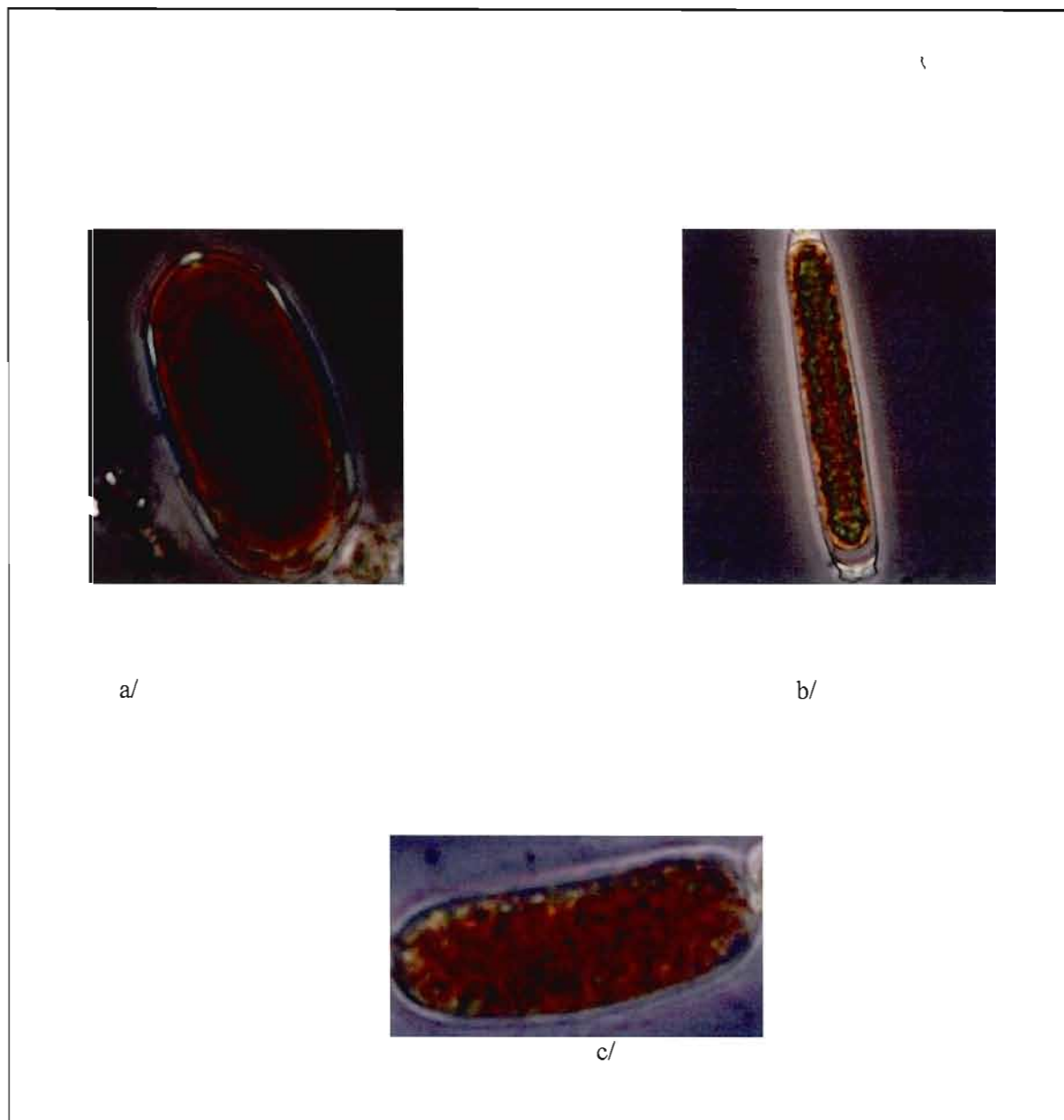


Fig. 2.9 : Morphologies des akinètes des espèces dominantes : (a) *Anabena planctonica* ; (b) *Aphanizomenon flos aquae* ; (c) *Anabaena flos aquae*.

2.4 Discussion :

Qualité de l'eau :

Le lac Brome est un lac peu profond qui présente une stratification thermique estivale avec le développement d'un hypolimnion relativement étroit. Ainsi, on observe un écart de température entre l'épilimnion et l'hypolimnion n'excédant pas 10°C, au cours de l'été. Les données physico-chimiques mesurées en 2005 sont le reflet d'un écosystème plutôt eutrophe. Ainsi, un appauvrissement important de la concentration en O₂ au niveau de l'hypolimnion, un coefficient d'extinction lumineuse compris entre 0,6 et 1,6 m⁻¹ pour les deux sites, est caractéristique d'un lac eutrophe (Likens 1975). Les mesures de chlorophylle « a » comprises entre 3 et 78 µg/l avec une moyenne supérieure à 14,3µg/l et des données de phosphore totale entre 10 et 30 µg/l pour les deux sites, est également caractéristique d'un écosystème eutrophe (Wetzel 1983). Les données d'azote total sont comprises entre 250 et 600µg/l pour les deux stations, reflétant un lac méso-eutrophe (Wetzel 1983). Enfin, les espèces algales qui dominent la communauté phytoplanctonique au cours de la saison libre des glaces 2005, sont clairement caractéristiques d'un lac eutrophe (*Anabaena* sp., *Aphanizomenon* sp., (Prescott 1973, Wetzel 1983)).

Les données collectées au cours de la saison d'échantillonnage 2005, confirment un problème de qualité de l'eau lié à un développement excessif de cyanobactéries, problème qui perdure depuis au moins le début des années 1990 (Maly 1991, Del Giorgio & Prairie 1995). Cette prolifération cyanobactérienne est d'autant plus problématique que l'on est en présence d'espèces potentiellement toxiques (*Anabaena* sp., *Aphanizomenon* sp.). Au cours de l'été dans les couches de mélange du lac Brome, la succession phytoplanctonique au niveau des grands groupes a été dominée par les chrysophycées au mois de juillet, puis on a observé une dominance assez nette des cyanophycées au mois d'août et septembre. La domination des chrysophycées au début de l'été est un phénomène relativement bien documenté dans la littérature (Pourriot & Meybeck 1995). À la station profonde, on observe également une

présence importante de diatomées en juillet, au niveau de l'hypolimnion. Ceci est probablement le reflet d'un bloom printanier de ces organismes en surface (Wetzel 1983). La communauté cyanobactérienne au cours de l'été 2005, a été dominée par trois espèces: *Anabaena flos aquae*, *Aphanizomenon flos aquae* et *Anabaena planctonica*. Ce type d'assemblage cyanobactérien n'est pas exceptionnel et il a déjà été décrit dans d'autres écosystèmes lacustres eutrophisés (Olding & al. 2000). Selon « la théorie des successions écologiques » (Margalef 1977), on sait qu'il existe des fluctuations dans l'assemblage phytoplanctonique au fil d'un cycle annuel, dans le temps et l'espace. L'abondance des organismes planctoniques varie grandement dans le temps et ceux-ci ne vont pas être présents tous au même moment dans la colonne d'eau (Rengefors & al. 2004). Cette succession s'applique également au niveau des espèces de cyanobactéries potentiellement toxiques. Au lac Brome, on a d'abord observé une dominance d'*Anabaena flos aquae* en août pour les deux stations, puis une domination d'*Aphanizomenon flos aquae* en septembre. Par ailleurs, on sait qu'*Anabaena planctonica* a dominé la communauté phytoplanctonique au moins au niveau de la station littorale au mois d'octobre 2005 (Données non présentées).

Évaluation des « seed banks » potentielles et germination des akinètes :

A l'heure actuelle, on sait que beaucoup d'espèces phytoplanctoniques ont un cycle de vie incluant un stade benthique végétatif et un stade pélagique (Hairston 1998). Les trois espèces dominantes pendant la saison d'échantillonnage ont la particularité de produire des cellules de résistances appelées « akinètes », qui peuvent sédimenter à l'interface eau-sédiment, formant ainsi une « banque de réserve » au niveau des sédiments superficiels (Takamura & al. 1984, Barbiero & Welch 1992, Hense & Heckmann 2006). Nous avons dénombré les akinètes non germées au niveau des sédiments superficiels pour les deux stations. *Anabaena* sp. présente le plus d'akinètes non germées aux deux sites. D'autre part, nous n'avons pas retrouvé d'akinètes d'*Aphanizomenon flos aquae* à la station profonde en 2005. Néanmoins, nous avons dénombré des akinètes de cette espèce pour cette station, lors de notre campagne de terrain de 2006 (données non présentées). Il peut y avoir différentes interprétations pour

expliquer cette absence. La première pourrait être liée à une distribution spatiale hétérogène des akinètes au niveau des sédiments. La seconde pourrait être liée à la morphologie des akinètes d'*Aphanizomenon flos aquae*. En effet, la paroi des akinètes est sensiblement plus fine pour *Aphanizomenon flos aquae* par rapport aux deux autres espèces d'*Anabaena*. Ce type d'akinètes pourrait donc être plus sensible à la dégradation lors de la phase de sédimentation au niveau de la station profonde. Enfin, on pourrait penser que la majeure partie des akinètes d'*Aphanizomenon* sp. avaient déjà germé à cette époque, ce qui pourrait expliquer l'accumulation métalimnétique des Nostocales observée fin juillet à la station profonde. Cependant, l'accumulation cyanobactérienne métalimnétique est surtout composée d'*Anabaena flos aquae* (ordre Nostocales, famille des Nostocacées), d'*Oscillatoria* sp. (ordre Oscillatoriales, famille des Oscillatoriacées) et *Gloeotrichia* sp., (ordre des Nostocales, famille des Rivulariacées), (Appendice III). Quoi qu'il en soit, il aurait été préférable de faire des prélèvements de sédiments superficiels au printemps, avant la phase de germination, pour déterminer la présence éventuelle d'akinètes d'*Aphanizomenon flos aquae* à la station profonde. Néanmoins, le dénombrement des akinètes confirme l'hypothèse que la zone littorale et profonde représente potentiellement une « banque de réserve », pouvant potentiellement servir d'inoculum pour l'ensemencement de la colonne d'eau.

Présentement, on sait que le taux germination des akinètes est dépendant de la température (Fay, 1987). Il a également été prouvé que ces cellules de résistances peuvent germer à la noiceur (Van Dok & Hart 1997). En général, la température optimale de germination est semblable à la température optimale de croissance cellulaire (Huber 1985, Fay 1987). D'après Ghoram (1964), la température optimale de croissance des cyanobactéries est de 25°C. Pour Watanabae & Oishi (1985), elle est plutôt de 18°C. Il apparaît que les cyanobactéries peuvent se développer entre 10 et 35°C (Baker & Bellifemine 2000). Ainsi, *Anabaena* spp. vont avoir une croissance optimale entre 20 et 30°C, mais ce genre peut présenter une croissance soutenue à partir de 7°C (Butterwick & al. 2005). *Aphanizomenon flos aquae* présente une croissance maximale entre 20 et 35°C, mais peut également présenter une croissance soutenue à partir de 8°C (Tsujimura & al. 2001, Butterwick & al. 2005). Les températures mesurées lors de la période d'échantillonnage sont relativement élevées à la

station littorale ($>20^{\circ}\text{C}$) et sont pas inférieures à 15°C au niveau de l'hypolimnion. Ainsi, même si les sédiments de la station profonde sont dans la zone aphotique (en général la limite de la zone photique se situe aux alentours de 7 m, (Fig. 2.1)), les températures sont probablement assez élevées pour permettre la germination des akinètes, des espèces cyanobactériennes spécifiquement présentes aux deux stations.

Couplage benthique-pélagique :

Les analyses de « repeated time analysis » confirment qu'il y a une variation dans le temps et l'espace pour les trois espèces cyanobactériennes dominantes, dans les couches de mélange de la station profonde. Pour la station littorale, on observe une variation dans le temps mais pas dans l'espace (à l'exception d'*Anabaena flos aquae*). De plus, la différence majeure entre les deux stations semble être la précocité avec laquelle vont se développer les populations. Ainsi, la station littorale semble présenter un développement cyanobactérien plus précoce que la station profonde. Les conditions environnementales de la zone littorale sont en partie responsables de ce développement plus avancé. En effet, la station littorale présente un apport de lumière important et une température plus élevée. Cette station est également plus facilement soumise à un brassage physique des sédiments superficiels. On sait à l'heure actuelle que la remise en suspension des sédiments superficiels favorise le recrutement des akinètes (Stahl-Delbanco & Hansson 2002, Rengefors & al. 2004). L'émergence plus tardive des populations cyanobactériennes à la station profonde s'explique également en partie par les conditions environnementales spécifiques de ce site. On sait que les akinètes vont pouvoir germer à la noirceur au niveau des sédiments superficiels après une phase de maturation (VanDok & Hart 1997). Néanmoins, les cellules cyanobactériennes qui émergent à la noirceur, vont devoir migrer le long de la colonne d'eau grâce à des adaptations spécifiques (ex : vacuoles gazeuses). Elles vont ainsi se placer à une profondeur présentant les conditions optimales pour leur développement (Wildman & al. 1975).

La théorie des successions des espèces implique également une succession dans la phase de germination des différentes espèces cyanobactériennes (Rengefors & al. 2004). En effet, les

akinètes ne vont pas toutes germer au même moment au niveau des sédiments superficiels. Cependant, les données collectées au cours de la saison d'échantillonnage 2005 ne nous ont pas permis de distinguer la phase de germination initiale pour *Anabaena flos aquae* et *Aphanizomenon flos aquae*. En effet, ces deux espèces sont déjà en phase de croissance active dans la colonne d'eau à partir du mois de juillet. Il est donc complexe d'estimer pour ces deux espèces, si on a un développement benthique comparable au niveau des deux sites. Toutefois, les données collectées nous ont permis de visualiser la phase initiale de germination d'*Anabaena planctonica*. Ainsi, le dénombrement des akinètes non germées réalisé fin juillet, nous a permis d'estimer l'inoculum potentiel pour chaque station. En effet, on sait que le recrutement benthique est généralement important au début de la phase de germination, puis diminue dans le temps (Cmiech & al. 1984, Rengefors & al 2004). Le dénombrement des akinètes d'*Anabaena planctonica* donne des résultats comparables pour les deux sites (station littorale : 1040 ± 220 akinètes/g sédiments humides; Station profonde : 570 ± 145 akinètes/g sédiments humides). Les sédiments superficiels des deux stations ont donc une potentialité « d'ensemencement » pour cette espèce. D'autre part, si on s'intéresse au développement algal benthique, *Anabaena planctonica* est uniquement présente en profondeur au niveau littorale, fin juillet. L'abondance initiale en profondeur pour cette station est de 14031 ± 2339 cellules/litre. Début août, nous avons dénombré des cellules d'*Anabaena planctonica* au niveau de l'hypolimnion de la station profonde. L'abondance hypolimnétique mesurée à cette date est de 16629 ± 1962 cellules/litre. Au fond, on peut assumer que cette abondance hypolimnétique est le reflet d'un développement benthique et non un apport d'algues provenant de l'épilimnion. En effet, entre la fin juillet et le début d'août 2005, la stratification de la colonne d'eau ne semble pas avoir subi de perturbations majeures. Ainsi, aucune tempête exceptionnelle n'a été relevée au niveau du lac Brome pendant cette période. De plus, si on observe les concentrations d'oxygène hypolimnétique pendant cette période, on peut voir que les eaux profondes n'ont pas été réoxygénée. D'autre part, la concentration en phosphore total témoigne également de la stabilité de la colonne d'eau pendant cette période. Ceci nous permet d'affirmer que les cellules d'*Anabaena planctonica* hypolimnétiques ne sont pas dues à un brassage complet de la colonne d'eau.

D'autre part, on pourrait penser que les algues observées au niveau de l'hypolimnion sont le reflet d'une sédimentation provenant de l'épilimnion. Cependant, *Anabaena planctonica* est une espèce qui présente une flottabilité positive grâce à la production de vacuoles gazeuses (Reynolds & Walsby 1975). Cette adaptation spécifique va lui permettre de se placer et de se maintenir à une profondeur offrant les conditions environnementales optimales à son développement. Il est donc peu probable qu'une population qui a amorcé sa phase de remontée fin juillet et qui est en phase de croissance active début août, commence à sédimenter vers l'hypolimnion. En effet, l'absence de lumière de l'hypolimnion serait un obstacle pour son développement cellulaire. Un appauvrissement épilimnétique en éléments nutritifs pourrait expliquer que ces algues ne prolifèrent pas en surface. Cependant, elles auront plutôt tendance à s'arrêter au niveau de la zone méta-hypolimnétique qui peut présenter un apport de lumière suffisant pour la croissance cellulaire des cyanobactéries (Pourriot & Meybeck 1995). En effet, ces organismes ont la particularité d'être relativement peu exigeants en besoins lumineux grâce à la présence de pigments spécifiques (Walsby 1992). Les données collectées au cours de la saison d'échantillonnage 2005, tendent donc à appuyer l'hypothèse que la zone profonde et littorale peuvent potentiellement représenter un inoculum pour le développement des populations cyanobactériennes pélagiques. Cette tendance semble se vérifier pour *Anabaena planctonica* qui présente un inoculum benthique initial plus ou moins similaire au niveau des deux sites d'études. Les résultats ainsi obtenus supportent l'idée qu'une distribution uniforme des akinètes non germées au niveau des sédiments superficiels d'un lac accroît les chances de formation de blooms cyanobactériens (Kovacs & al. 2003).

Conclusion :

Les données obtenues au cours de l'été de 2005 confortent l'idée qu'il n'y a pas une zone unique de recrutement benthique des populations cyanobactériennes. Ainsi, la zone littorale et profonde semblent pouvoir jouer un rôle dans l'ensemencement de la zone pélagique et donc dans la formation d'efflorescences. D'autre part, les résultats obtenus supportent l'idée

qu'il existe une germination des akinètes à la noirceur, ce qui soutient l'hypothèse que la température est un facteur primordial dans l'initiation de la germination. Cependant, c'est l'association de conditions environnementales précises qui va initier la phase de germination (température, disponibilité en nutriments, en oxygène....). Toutefois, les conditions environnementales présentes à la station littorale (par exemple : température, lumière....), semblent favoriser un développement cyanobactérien plus précoce par rapport à la station profonde. Néanmoins, les observations obtenues grâce aux données de 2005 sont surtout applicables aux lacs peu profonds, comme le lac Brome. En effet, un lac profond risque de ne pas présenter des conditions environnementales appropriées à la germination des akinètes au niveau de l'hypolimnion (par exemple des températures trop basses).

Perspectives futures :

Pour approfondir ces conclusions, il aurait été nécessaire d'accroître l'effort d'échantillonnage, en multipliant les stations étudiées. De plus, il aurait été nécessaire de prélever des échantillons de sédiments superficiels au printemps avant la phase de germination des akinètes pour réellement estimer le « pool » d'akinètes non germées à la station profonde et littorale. D'autre part, il aurait été important de suivre la décroissance du stock d'akinètes pour chaque espèce dans le temps, en prélevant des échantillons de sédiments superficiels à une fréquence régulière. Il aurait également été nécessaire d'augmenter le nombre d'échantillons d'eau prélevés et analysés au moment de la phase de germination des différentes espèces cyanobactériennes. Cette démarche nous aurait permis d'affiner notre analyse et ainsi déterminer si on peut effectivement relier le développement algal benthique spécifique de chaque station avec la décroissance progressive du « pool » d'akinètes à l'interface eau-sédiment.

2.5 Références :

Baker P.D. & Bellifemine D. 2000. Environmental influences on akinete germination of *Anabaena circinalis* and implications for management of cyanobacterial blooms. *Hydrobiologia*, 427 : 65-73.

Barbiero, R.P. & Welch, E.B. 1992. Contribution of benthic blue-green algal recruitment to lake populations and phosphorus translocation. *Fresh. Biol.* 27: 249-260.

Brunberg A-K & Blomqvist P. 2003. Recruitment of *Microcystis* (Cyanophyceae) from lake sediments: The importance of littoral inocula. *J. Phycol.* 39: 58-63.

Butterwick C., Heaney S.I. & Talling J.F. 2005. Diversity in the influence of temperature on the growth rates of freshwater algae, and its ecological relevance. *Fresh. Biol.* 50 : 291-300.

Cmiech H.A., Reynolds C.S. & Leedale G.F. 1984. Seasonal periodicity, heterocyst differentiation and sporulation of planktonic cyanophyceae in a shallow lake, with special reference to *Anabaena solitaria*. *Br Phycol. J.* 19 : 245-257.

Del Giorgio P. & Prairie Y. 1995. Brome Lake Project. A report to the town of Brome Lake. Rap. UQAM, Montréal.

Fay P. 1987. The cyanobacteria. Elsevier, Amsterdam.

Fryxell G.A. 1983. Survival strategies of the algae. Cambridge University Press, Cambridge.

Ghoram P.R. 1964. Toxic algae. In : *Algae and Man*. Jackson (eds), Plenum Press. New York, pp : 307-336.

Hairton N.G.J. 1998. Time travelers ; What's timely in diapause research. *Arch. Hydrobiol Spec. Is. Adv. Limnol.* 52 : 1-15.

Hansson L.A. 1996. Algal recruitment from lake sediments in relation to grazing, sinking and dominance patterns in the phytoplankton community. *Limnol. Oceanogr.*, 41: 1312-1323.

Head R.M., Jones R.I. & Bailey-Watts A.E. 1999. An assessment of the influence of recruitment from the sediment on the development of planktonic populations of cyanobacteria in a temperate mesotrophic lake. *Fresh. Biol.* 41 : 759-769.

Hense I. & Heckmann A. 2006. Towards a model of cyanobacteria life-effects of growing and resting stages on bloom formation of N_2 fixing species. *Ecol. Model.* 195 : 205-218.

Huber A.L. 1985. Factors affecting the germination of akinetes of *Nodularia spumigena* (Cyanobacteriaceae). *Ap. Envir. Microbiol.*, 49 : 73-78.

Kalff J. 2002. *Limnology : Inland water ecosystems*. Prentice-Hall. Upper Saddle River, N.J.

Karlsson I. 2003. Benthic growth of *Gloeotrichia echinulata*. *Hydrobiologia*, 506 : 189-196.

Kovacs A.W., Koncz E. & Vörös L. 2003. Akinetes abundance of N_2 -fixing cyanobacteria in sediment of lake Balaton (Hungary). *Hydrobiologia* 506-509 : 181-188.

Lewis W.M. Jr., 1976. Surface/volume ratio : Implication for phytoplankton morphology. *Science* 192 : 885-887.

Likens G.E. 1975. Primary production of inland aquatic ecosystems. In: *The primary productivity of the biosphere*. Lieth and Whittaker (eds), Springer-Verlag. NY, pp :185-202.

Maly E.J. 1991. Trophic status, pollution levels, with some recommendations for the mangement of Lake Brome. A report to the town of Brome Lake. Concordia Univ., Montréal.

Margalef R. 1977. *Ecologia*. Omega, Barcelona.

Nusch E.A. 1980. Comparison of methods for chlorophyll and phaeopigment determination. Arch. Hyrobiol. Beih. Ergebn. Limnol, 14 : 14-36.

Olding D.D., Hellbust J.A. & Douglas S.V. 2000. Phytoplankton community composition in relation to water quality and water-body morphometry in urban lakes, reservoirs and ponds. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57 : 2163-2174.

Paerl H.W. 1988. Growth and reproductive strategies of blue-green algae (Cyanobacteria). In: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Sandgren (eds). Cambridge university Press, Cambridge, pp: 261-315.

Pourriot & Meybeck 1995. Limnologie générale. Collection écologie. Masson, Paris.

Prescott G.W. 1973. Algae of the Western Great Lakes area. Otto Koeltz (eds). Science Publishers, Koenigstein, Germany.

Rengefors, K., Gustafsson S. & Stahl-delbanco A. 2004. Factors regulating the recruitment of cyanobacterial and eukaryotic phytoplankton from littoral and profundal sediments. Aquat. Microb. Eco., 36 : 213-226.

Reynolds C.S. 1987. Cyanobacterial water-blooms. Adv. Botanical Res., 13 : 67-143.

Reynolds C.S. & Walsby A.E. 1975. Water-blooms. Biol. Rev. 50 : 437-481.

Sartory D.P. & Grobbelaar J.U. 1984. Extraction of chlorophyll from a freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. Hydrobiologia 114: 177-187.

Stahl-Delbanco A. & Hansson L.A. 2002. Effects of bioturbation on recruitment of algal cells from the 'seed bank' of lake sediments. Limnol. Oceanogr. 47: 1836-1843.

Takamura N.M., Yasuno M. & Sugahara K. 1984. Overwintering of *Microcystis aeruginosa* Kütz. in a shallow lake. J. of Plankton Res. 6 : 1019-1029.

Trimbee A.M. & Harris G.P. 1984. Phytoplankton population dynamics of a small reservoir : use of sedimentation traps to quantify the loss of diatoms and recruitment of summer bloom-forming blue-green algae. J. of Plankton Res, 6 : 897-918.

Tsujimura S. 2004. Reduction of germination frequency in *Anabaena* akinetes by sediment drying : a possible method by which to inhibit bloom formation. Water Res., 38 : 4361-4366.

Tsujimura S., Ishikawa K. & Tsukada H. 2001. Effect of temperature on growth of the cyanobacterium *Aphanizomenon flos-aquae* in Lake Biwa and Lake Yogo. Phycol. Res. 49 : 275-280.

Utermöhl H. 1958. Zur Vervollkmmnung des quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Internat. Ver. Theoret. Angew. Limnol. 9 : 1-38.

Van Dok W. & Hart B.T. 1997. Akinete germination in *Anabaena circinalis* (Cyanophyta), J. of Phycol. 33 : 12-17.

Walsby A.E. 1992. The control of gas-vacuolate Cyanobacteria. In : Eutrophication: Research and application to water supply. Sutcliffe & Jones (eds). Freshwater biological association. London, pp: 150-162.

Watanabae M.F. & Oishi S. 1985. "Effect of environmental factors on toxicity of a cyanobacterium (*Microcystis aeruginosa*) under conditions." Appl. Environn. Microbiol. 49 : 1342-1344.

Wetzel, R.G. 1983. Limnology 2nd ed. Saunders College publishing.

Wildman R.B., Loescher J.H. & Winger C.L. 1975. Development and germination of akinetes of *Aphanizomenon flos-aquae*. J. Phycol. 11 : 96-104.

CHAPITRE III :

CHANGEMENTS RÉCENTS DE L'ABONDANCE CYANOBACTÉRIENNE DU LAC BROME (QUÉBEC) : ÉTUDE PALÉOLIMNOLOGIQUE ET GÉOCHIMIQUE

Par

Alexandre Blin¹, Dolors Planas¹ et Moritz Lehmann².

¹ GEOPTOP-UQAM-McGill, Université du Québec à Montréal,
201 Président Kennedy, Montréal Qc., H2X 3Y7

² Institute for Environmental Geoscience, Universität Basel
CH-4056 Basel

Le prélèvement et l'analyse des échantillons, ainsi que la rédaction de ce chapitre ont été réalisés par A. Blin. L'ensemble de ces étapes ont été supervisées par D. Planas et M. Lehmann.

RÉSUMÉ :

La fréquence d'apparition des efflorescences de cyanobactéries toxiques dans les lacs du sud du Québec est devenue un sérieux problème environnemental. Dans le but de reconstruire les fluctuations temporelles de l'abondance des cyanobactéries au cours de ce dernier siècle, de même que le lien probable qui existe entre l'abondance cyanobactérienne et les modifications des conditions environnementales, nous avons étudié la distribution des pigments fossiles spécifiques des Nostococcales ainsi que leurs formes de résistances (akinètes) dans les sédiments, tout comme la relation qui les relie au ratio N/P. Nous avons montré qu'il existe une relation significative, au fil du temps, entre l'abondance des akinètes et les concentrations en pigments fossiles, (Canthaxanthine-akinètes : $R^2 = 0.43$; $p=0,0016$; Aphanizophyll-akinètes : $R^2 = 0.71$; $p<0,0001$). Les akinètes conservées dans les sédiments, confirment la présence d'*Anabaena* spp. et d'*Aphanizomenon flos aquae* depuis 1862 dans ce lac. Cependant, leur abondance a connue une croissance continue depuis le début du 20^{ième} siècle (1920-1930), coïncidant ainsi avec l'intensification des activités anthropiques au niveau du bassin versant. A partir de 1970, l'abondance relative des akinètes dans les sédiments ainsi que les concentrations en pigments fossiles suggèrent une augmentation exponentielle de l'abondance cyanobactérienne dans la zone pélagique du lac. Cette tendance est en accord avec la diminution du ratio N/P dans la colonne d'eau, qui est passé de 27 en 1974 à 10 en 2005. A l'heure actuelle, ce ratio est le reflet d'un écosystème limité en azote. Par ailleurs, un accroissement relatif de la contribution des organismes fixateurs de N_2 au pool de matière organique se reflète notamment par une décroissance du ratio $^{15}N/^{14}N$ dans les dépôts sédimentaires récents (depuis les années 1970).

Mots clés : Eutrophisation, cyanobactéries, paléopigments, akinètes.

3.1 Introduction :

A l'heure actuelle, il est reconnu que l'agriculture et les activités urbaines sont les sources majeures d'apport en phosphore et en azote vers les écosystèmes aquatiques (Carpenter & al. 1998). D'une manière générale, la concentration ou l'apport en azote et en phosphore dans les lacs augmente proportionnellement avec l'accroissement des activités agricoles, urbaines et industrielles dans le bassin versant (Parry 1998). D'autre part, nous savons que cet apport anthropogénique en éléments nutritifs va entraîner une augmentation rapide de la production biologique avec une diminution significative de la transparence de l'eau et une dégradation importante de la qualité de l'eau (favorisant la formation de fleurs d'eau, la diminution de la biodiversité, la disparition d'espèces exploitables.....), (Carpenter & al. 1998, Smith & al. 2006). A partir de 1960, la communauté scientifique a commencé à lier les blooms algaux à un accroissement des apports en éléments nutritifs (Schindler 1978). Cependant, les efflorescences cyanobactériennes sont un phénomène naturel dans certains écosystèmes (Mc Gowan & Britton 1999), notamment dans les lacs des prairies canadiennes où le sol est naturellement riche en phosphore (Barica 1987). Actuellement, l'augmentation des efflorescences cyanobactériennes à travers le Canada et ailleurs dans le monde, préoccupe de plus en plus l'opinion publique car elles peuvent représenter un risque pour les écosystèmes, les animaux et les humains.

Alors qu'au 21^{ème} siècle, les informations disponibles sur l'écologie et la physiologie des cyanobactéries sont nombreuses, on ne comprend pas encore clairement les mécanismes qui déterminent quand et où vont apparaître les efflorescences cyanobactériennes. D'autre part, on ne retrouve peu d'études qui étudient les changements de l'abondance cyanobactérienne à long terme, dans des écosystèmes où les fleurs d'eau de cyanobactéries sont devenues un phénomène récurrent.

La majorité des cyanobactéries responsables des efflorescences peuvent produire des cellules de résistance, appelés « akinètes ». Ceux sont des cellules spécialisées à parois épaisses que l'on retrouve chez les Nostococcales et les Stigonématales. Les akinètes peuvent rester viables pendant des centaines d'années (Van Geel & al. 1994). Ils ont la capacité de résister à

des conditions dites extrêmes, comme des températures basses ou la dessiccation (Herdman 1987). En général, les cyanobactéries commencent à produire des spores de résistances lorsque les conditions deviennent défavorables pour leur croissance : changement des concentrations ou du ratios en éléments nutritifs, manque de lumière ou diminution des températures de l'eau (Whitton & Potts 2000). Dans les pays où la surface des lacs est gelée en hiver, les cyanobactéries vont produire des akinètes lorsqu'elles atteignent leur phase stationnaire de croissance, du milieu de l'été au début de l'automne (Rasänen & al. 2006). Kovacs & al. (2003), ont observé que les akinètes se développent après une phase de croissance exponentielle des espèces productrices de ce type de cellule spécialisée. Kim & al. (2005), ont observé un accroissement de la densité d'akinètes d'*Anabaena sp.* à la surface des sédiments après que la population d'*Anabaena sp.* aie décliné dans la colonne d'eau. Les écosystèmes qui présentent des efflorescences de cyanobactéries productrices d'akinètes vont être propices à présenter ces formes de résistances à l'interface eau-sédiment, ce qui peut représenter un inoculum pour le développement des populations pélagiques au fil des années (Barbiero & Welch 1992).

La paroi épaisse des akinètes les protège de la dégradation lors de la sédimentation et du dépôt à la surface des sédiments. Ils possèdent également de nombreux composés de réserves (sous forme de cyanophycine, granules de glycogènes et composés lipidiques), (Paerl 1988), augmentant ainsi leur faculté de survie sur ou dans les sédiments. Ces cellules spécialisées peuvent ainsi être utilisées comme traceur paléolimnologique pour étudier l'historique des cyanobactéries productrices d'akinètes dans les lacs (Van Geel & al. 1994, Kling 1998, Eilers & al. 2004, Brabdry & al. 2004, Rasänen & al. 2006). L'étude des akinètes couplée à d'autres traceurs paléolimnologiques de la biomasse cyanobactérienne, comme les pigments fossiles, va nous apporter des informations sur les fluctuations de l'assemblage cyanobactérien. A l'heure actuelle, on sait que les concentrations de pigments fossiles sédimentaires spécifiques aux cyanobactéries sont corrélées dans le temps avec la biomasse pélagique de ce groupe de procaryotes (Leavitt & Findlay 1994). Il faut toutefois considérer le fait que les pigments fossiles spécifiques des cyanobactéries vont donner une estimation de la biomasse cyanobactérienne, car une dégradation a lieu lors du processus de sédimentation

le long de la colonne d'eau. Des pigments résiduels peuvent également être dégradés à la surface de dépôt (Leavitt & Findlay 1994). Sous cette zone de dégradation active, les pigments fossiles vont être préservés pendant plusieurs centaines d'années (Leavitt & Findlay 1994).

Les cyanobactéries potentiellement toxiques qui possèdent des hétérocystes sont les principales responsables de la fixation pélagique de N_2 , en particulier dans les lacs où l'on retrouve des concentrations en phosphore élevées et un faible ratio N/P (Fogg & al. 1973, Millie & al. 1999). En outre, étant donné que la fixation d'azote atmosphérique entraîne un apport de matière organique avec un ratio $^{15}N/^{14}N$ relativement bas, lorsque celle-ci est importante dans les milieux aquatiques, elle devrait en théorie diminuer le $\delta^{15}N$ de la matière organique des dépôts sédimentaires (Talbot 2001), (Leavitt & al. 2006). Ainsi, les mesures isotopiques de l'azote dans les sédiments couplées à l'historique des concentrations en éléments nutritifs dans la colonne d'eau (variations des disponibilités en azote vs en phosphore), pourrait nous permettre de retracer les fluctuations temporelles de l'importance des cyanobactéries fixatrices de N_2 .

L'un des objectifs de cette étude est de retracer l'historique de la formation des fleurs d'eau cyanobactériennes depuis le début de l'exploitation anthropique du bassin versant, dans un lac qui présente des efflorescences cyanobactériennes récurrentes. L'abondance des akinètes dans les sédiments ainsi que les concentrations en pigments fossiles (aphanizophyll et canthaxanthine) seront utilisés comme traceurs paléolimnologiques. Plus précisément, nous allons évaluer les fluctuations de ces paléotraceurs durant les 150 dernières années en assumant qu'ils sont directement le reflet de l'abondance relative des cyanobactéries dans la colonne d'eau. Finalement, nous allons tenter de relier les fluctuations de l'abondance relative des cyanobactéries potentiellement fixatrices de N_2 avec la variation des concentrations en éléments nutritifs mesurées dans la colonne d'eau (N et P). En outre, nous allons vérifier si les cyanobactéries fixatrices d'azote atmosphérique dominent actuellement l'assemblage phytoplanctonique grâce à leur faculté à fixer le N_2 , en accord avec les profils de $\delta^{15}N$ mesuré dans les sédiments et les fluctuations du ratio N/P dans le lac d'étude.

3.2 Matériel et Méthodes :

3.2.1 Caractéristiques du lac d'étude; le lac Brome :

Le lac Brome est situé dans les cantons de l'est québécois, Canada (45°15`N, 72°30`W), à une altitude de 196,08 mètres, avec une surface de 14,6 km² et une profondeur maximale de 12,8 mètres (profondeur moyenne de 5,8m). La surface de son bassin versant est de 185,6km² (Nürnberg 1998). Le rapport aire du bassin versant sur aire du lac est relativement élevé (environ 12,7), indiquant que les perturbations du bassin versant vont pouvoir influencer sur le statut trophique du lac (Nürnberg 1998). Ce lac développe actuellement des blooms massifs de cyanobactéries au cours de l'été et l'automne, ce qui est propice à une dégradation importante de la qualité de l'eau. Ainsi, les cyanobactéries représentaient plus de 50% de la biomasse relative du phytoplancton au cours de l'été 2005 (Chapitre II). Entre juillet et septembre 2005, nous avons observé la succession de deux blooms de cyanobactéries productrices d'akinetes et ayant la capacité de fixer le N₂. Les espèces dominantes étaient : *Anabaena flos aquae* au mois de juillet et *Aphanizomenon flos aquae* associé à *Anabaena planctonica* en août et septembre (Chapitre II)

3.2.2 Données historiques :

Les premiers colons européens se sont installés autour du lac Brome en 1792 (Taylor 1908). En 1831, on estime que 600 personnes résidaient dans le bassin versant de ce lac (Taylor 1908). Après un déclin de la population entre 1880 et 1920, on assiste à une nouvelle vague de peuplement de 1920 jusqu'à l'époque contemporaine (Kesteman & al. 1998). Les données compilées par l'ARDA (Aménagement Rural et Développement Agricole) entre 1966 et 1970 (Alain & al. 1978), montrent que sur les 185,6km² du bassin versant du lac, 100,6km² sont occupées par de la forêt spontanée ou plantée, 26,7km² par des terres en friches, 27,1km² par

de grandes cultures, 23km² par des pâturages, 3,1km² par des agglomérations urbaines et 3,8km² par des chalets et des zones de loisirs (Alain & al. 1978). Entre 1970 et 1980, les apports naturels en phosphore sont restés plus au moins constants (aux alentours de 40%), mais les apports en phosphore liés aux eaux résiduelles non traitées ont connues une croissance importante (de 18% à 32%), (Appendice I). En 1980, sur les 21,08km de périmètre du lac seulement 3,6km (17%) sont des zones non perturbés par des aménagements humains (Bélanger 1981).

Les concentrations en éléments nutritifs (N et P) mesurées dans la colonne d'eau du lac Brome, sont disponibles depuis les années 1970 (Appendice II). Ces données correspondent en général à une moyenne des valeurs mesurées par différentes équipes de recherche pendant la saison libre des glaces, au niveau de la zone profonde du lac. Globalement, la concentration en phosphore totale tend à augmenter depuis ces trente dernières années (de 13µg/l en 1970 à 31µg/l en 2005) alors que la concentration en azote totale varie peu (aux alentours de 314±105 µg/l depuis 1970). Par conséquent le ratio NT/PT, compris entre 25 et 39 dans les années 1970, décroît progressivement pour arriver à un ratio égal à 10 en 2005 (Appendice II).

3.2.3 Prélèvement des sédiments :

Deux carottes de sédiment (carottes E et F), ont été prélevées dans la zone profonde du lac (45°14'465N, 72°30'996W), au cours d'une journée calme du mois de juillet 2005 à l'aide d'un carottier à gravité. Les carottes ont été sectionnées directement sur le terrain à des intervalles de 1cm (0 à 15 centimètres), au delà de 15cm les carottes ont été tranchées à des intervalles de 2cm. Au laboratoire, les échantillons ont été homogénéisés, lyophilisés, sous-échantillonnés et congelés à -80°C pour les différentes analyses réalisées, excepté pour le comptage des akinètes où les sédiments humides ont été utilisés.

3.2.4 Datation des sédiments :

Les mesures d'activité du plomb 210 (Pb^{210}) ont été effectuées sur les sous-échantillons de sédiments lyophilisés et broyés pour évaluer le taux de sédimentation et ainsi dater nos échantillons (Sorgente & al. 1999). Cette activité est calculée indirectement en mesurant le taux de dispersion de l'isotope sœur du Pb^{210} : le polonium 210 ($t_{1/2} = 138,4$ jours; $\alpha = 5,30$ MeV), par spectrométrie alpha (EGG&ORTEC type 576A). Une quantité de polonium-209 est ajoutée à chaque échantillon pour évaluer l'efficacité de l'extraction et du comptage. Le polonium est extrait des sédiments par des traitements chimiques (dans l'ordre : HCl, HNO_3 , HF et H_2O_2). Les composés analytiques concentrés par ces traitements chimiques sont déposés sur un disque d'argent pour le comptage (Flynn 1968). L'activité excédentaire du Pb^{210} est obtenue en soustrayant la valeur de l'activité régionale soutenue, aux valeurs calculées par spectrométrie (EGG&ORTEC type 576A). Le taux de sédimentation est calculé en utilisant la constante de décomposition radioactive (λ) du Pb^{210} et la pente de la régression linéaire de la fonction logarithmique du Pb^{210} excédentaire.

Des analyses de distribution du césium-137 en fonction de la profondeur ont également été effectuées avec un spectromètre à rayon γ à 661,6 KeV, à l'aide d'un détecteur (Ge well, Canberra). Cette technique permet de localiser les retombées radioactives en césium dues aux essais nucléaires réalisés entre 1952-1972, avec un maximum de retombées radioactives en 1963 (Jouanneau & al. 1999). Le pic de césium 137 obtenu pour nos échantillons va nous permettre de calibrer et vérifier les datations de Pb^{210} .

3.2.5 Analyse des pigments fossiles sédimentaires :

Les caroténoïdes ont été extraits en ajoutant 25 à 150mg de sédiment lyophilisé à 6ml d'acétone : méthanol : eau (80 : 15 : 5 par volume) à 10°C pendant 24 heures (Leavitt & al. 1989). Les pigments dissous ont été filtrés à travers des membranes d'acropore de 0,2 μm et

asséchés sous un jet de N_2 avant l'analyse chromatographique. Les pigments ont été quantifiés en utilisant un système de chromatographie liquide haute performance (HPLC) (Beckman Coulter), connecté via une précolonne (3,9 x 20mm, Waters) à une colonne de type X-terra RP 18 (4,6x250mm, grosseur des particules : 5 μ m, Waters). Les caroténoïdes ont été identifiés en suivant la procédure de phase inverse de Mantoura & Lewellyn (1983), modifié par Leavitt & al. (1989). Les caractéristiques spectrales spécifiques des pigments et le temps de rétention ont été utilisés pour l'identification. L'instrument a été calibré avec des pigments standards (DHI) de concentrations connues. Les pigments étudiés au cours de cette étude sont les caroténoïdes spécifiques des cyanobactéries filamenteuses (canthaxanthine) et des cyanobactéries ayant la capacité de fixer le N_2 (aphanizophyll), (Hall & al. 1999, Leavitt & al. 2006, Patoine & al. 2006). Toutes les concentrations des pigments sont exprimées en nmol de pigment par gramme de matière organique, en utilisant « le poids sec sans cendres » à 500°C comme estimateur de la fraction organique des sédiments (Dean, 1974).

3.2.6 Dénombrement des akinètes :

Le nombre d'akinètes a été quantifié pour les 25 premiers centimètres des deux carottes. Un poids connu (20 et 200mg en fonction des carottes) de sédiment humide a été mis en suspension dans 200ml d'eau distillée pour arriver à une concentration de 0,1mg/ml et 1mg/ml respectivement pour les deux carottes. Un aliquot des 200ml (2 à 10 ml en fonction des carottes) a été sédimenté et l'ensemble des akinètes (non germées et germées) de cet aliquot ont été dénombrées à l'aide d'un microscope inversé (contraste de phase à une magnification de x 800, Leica IRB) en utilisant la méthode d'Utermöhl (1958), suivant les procédures de Kling (1998) et Rasänen & al. (2006). La concentration d'akinète par gramme de sédiment humide a ensuite été normalisée par rapport au pourcentage de MO et au poids sec des sédiments. Cette étape nous a permis de rendre notre concentration en akinète comparable aux concentrations de pigments fossiles et de palier aux effets éventuels de la variation due à la dilution des particules allochtones inorganiques.

3.2.7 Analyse isotopique :

Pour les analyses isotopiques de l'azote, 3 à 10mg de sédiments lyophilisés ont été pesés dans des capsules d'argent. Les mesures ont été effectuées grâce à un IRMS à flot continue (GV Isoprim), couplé à un analyseur C/N Carlo Erba NA 1500 series 2. Les résultats d'isotope stable de l'azote sont présentés selon la notation conventionnelle de delta (δ ; $\delta = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{référence}}) - 1] * 1000$) en prenant l'azote atmosphérique N_2 (AIR) comme standard ($\delta^{15}N = 0\text{‰}$). Les mesures ont été calibrées en utilisant des standards internationaux (i.e., IAEA-N1, IAEA-N2).

3.2.8 Analyse statistique :

Nous avons effectuées des régressions linéaires simples entre les variables prédictives et la variable dépendante. Cependant, nous avons testé plusieurs modèles mathématiques (logarithmique, exponentiel...), pour s'assurer que la régression linéaire est le modèle présentant le meilleur ajustement entre ces variables. Les régressions ont été effectuées après avoir vérifié les conditions d'applications en utilisant le logiciel informatique JMP In (au moins 20 valeurs, la normalité des résidus, l'homocédasticité, la linéarité).

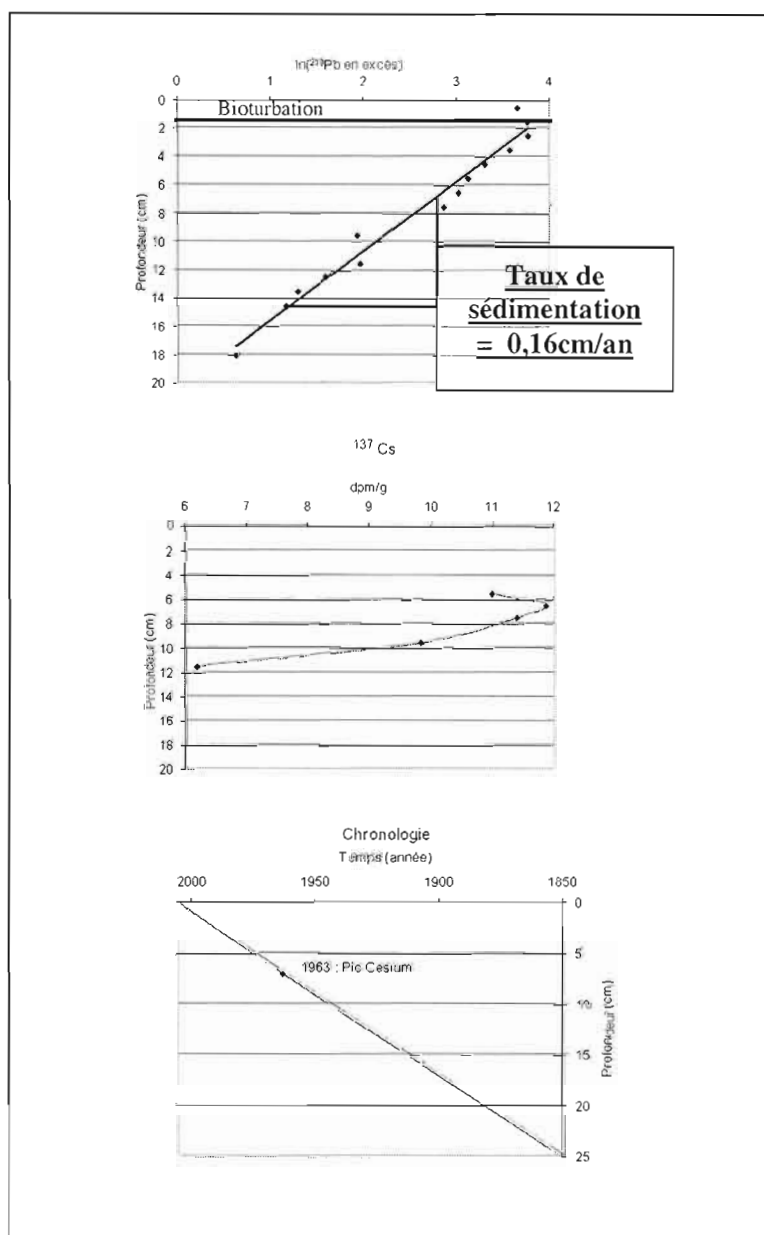
3.3 Résultats :

3.3.1 Pb^{210} en excès, activité du ^{137}Cs et taux de sédimentation :

Les données de $\ln(\text{excesPb}^{210})$ pour l'intervalle de 2 à 25 cm donnent une relation linéaire simple (Fig. 3.1 ; $n=20$, $R^2 = 0,97$) permettant d'estimer un taux de sédimentation moyen de 0,16cm de dépôt par année (Sorgente & al., 1999), (les deux premiers centimètres ne présentent pas de variation, indiquant un mélange des sédiments résultant de la bioturbation). Le modèle de datation ainsi estimé peut être confirmé par la distribution du ^{137}Cs (Fig. 3.1), qui présente un maximum d'activité distinct au 7ième centimètre, correspondant à l'année 1963 (Jouanneau & al. 1999).

Selon notre modèle de datation (fig. 3.1), en assumant un taux de sédimentation constant pour l'ensemble de la carotte sédimentaire, les 25 premiers centimètres représentent à peu près 150 ans (2006 à 1856 AD). Les deux carottes sédimentaires ayant été prélevées à la même position géographique, nous avons assumé un taux de sédimentation identique pour les deux réplifications. D'autre part, pour faciliter l'interprétation des données, nous avons considéré un âge moyen pour chaque tranche de sédiment (de 2003 à 1862 AD).

Figure 3.1

Fig. 3.1 : Pb^{210} , Cs^{137} et taux de sédimentation

3.3.2 Stratigraphie de la matière organique et des pigments :

On observe une augmentation progressive du pourcentage de matière organique de 1862 à 2003 (de $16,9\% \pm 0,6$ à $26,7\% \pm 1,2$), (fig. 3.2).

Les pigments caroténoïdes fossiles nous ont fournis une estimation des fluctuations des concentrations en pigments spécifiques depuis 1862, c'est à dire à peu près 70 ans après l'installation des premiers colons européens. La présence de canthaxanthine (spécifique des cyanobactéries filamenteuses) et d'aphanizophyll (spécifique des cyanobactéries ayant la capacité de fixer le N_2) (Fig. 3.3), montrent que les cyanobactéries filamenteuses et potentiellement fixatrices de N_2 ne sont pas un phénomène récent dans le lac Brome, puisqu'elles sont présentes depuis au moins 150 ans.

La concentration en canthaxanthine, est restée plus ou moins constante de 1862 à 1979. En effet, pendant cette période, la concentration est proche de $17,29 \pm 1,5$ nmoles/gMO. De 1979 à 2003, on observe une croissance progressive puisque la concentration va croître de $17,5 \pm 2$ nmoles/gMO à $41,5 \pm 3,5$ nmoles/gMO (Fig. 3.3). De 1862 à 1979, la concentration en aphanizophyll se situe au alentour de $9,66 \pm 2,86$ nmoles/gMO. De 1979 à 2003, on observe une croissance importante de la concentration, puisque celle-ci passe de $13,5 \pm 2,5$ nmoles/gMO à $39,5 \pm 2$ nmoles/gMO. L'augmentation des concentrations en Aphanizophyll entre les années 1970 et 2000, est proportionnellement plus importante que celle observée pour le profil de la canthaxanthine.

Figure 3.2

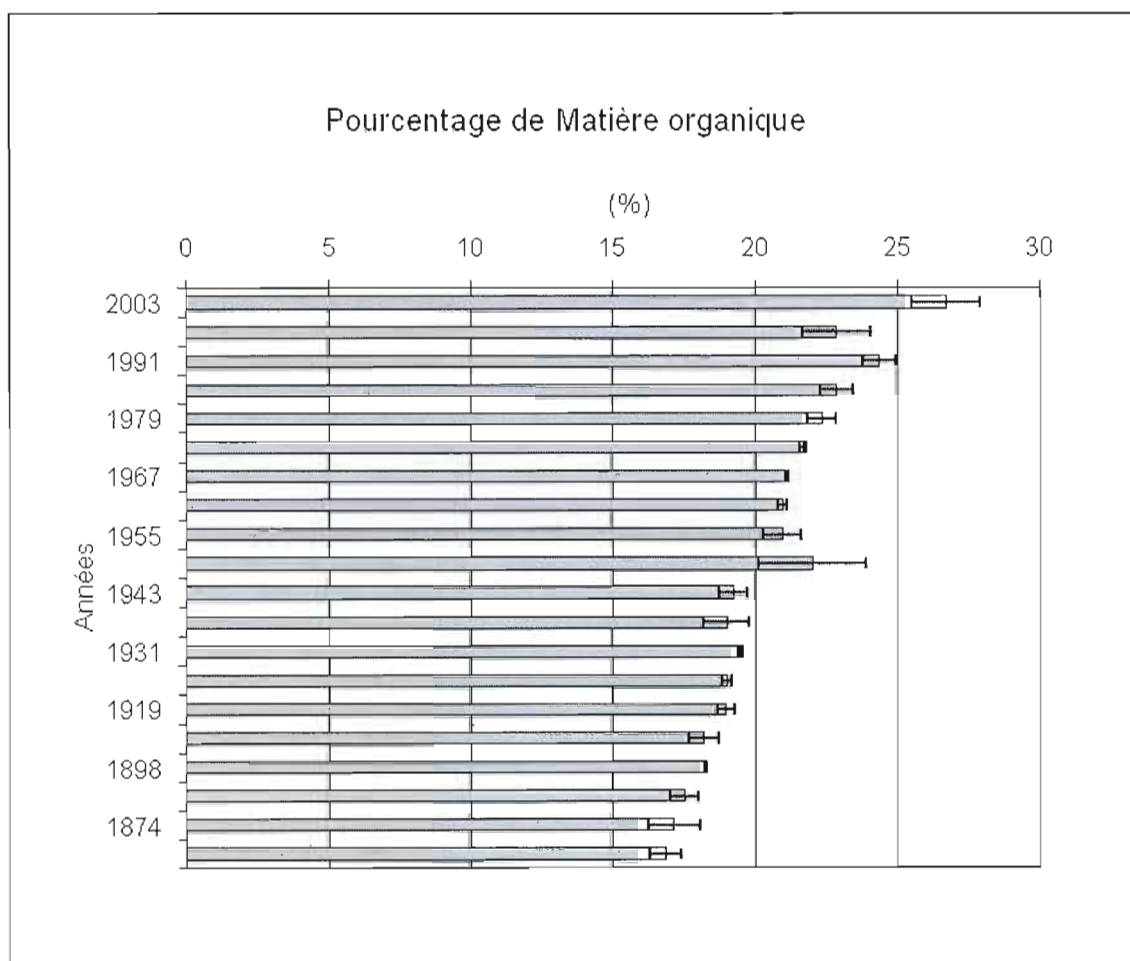


Fig. 3.2 : Pourcentage de matière organique.

Figure 3.3

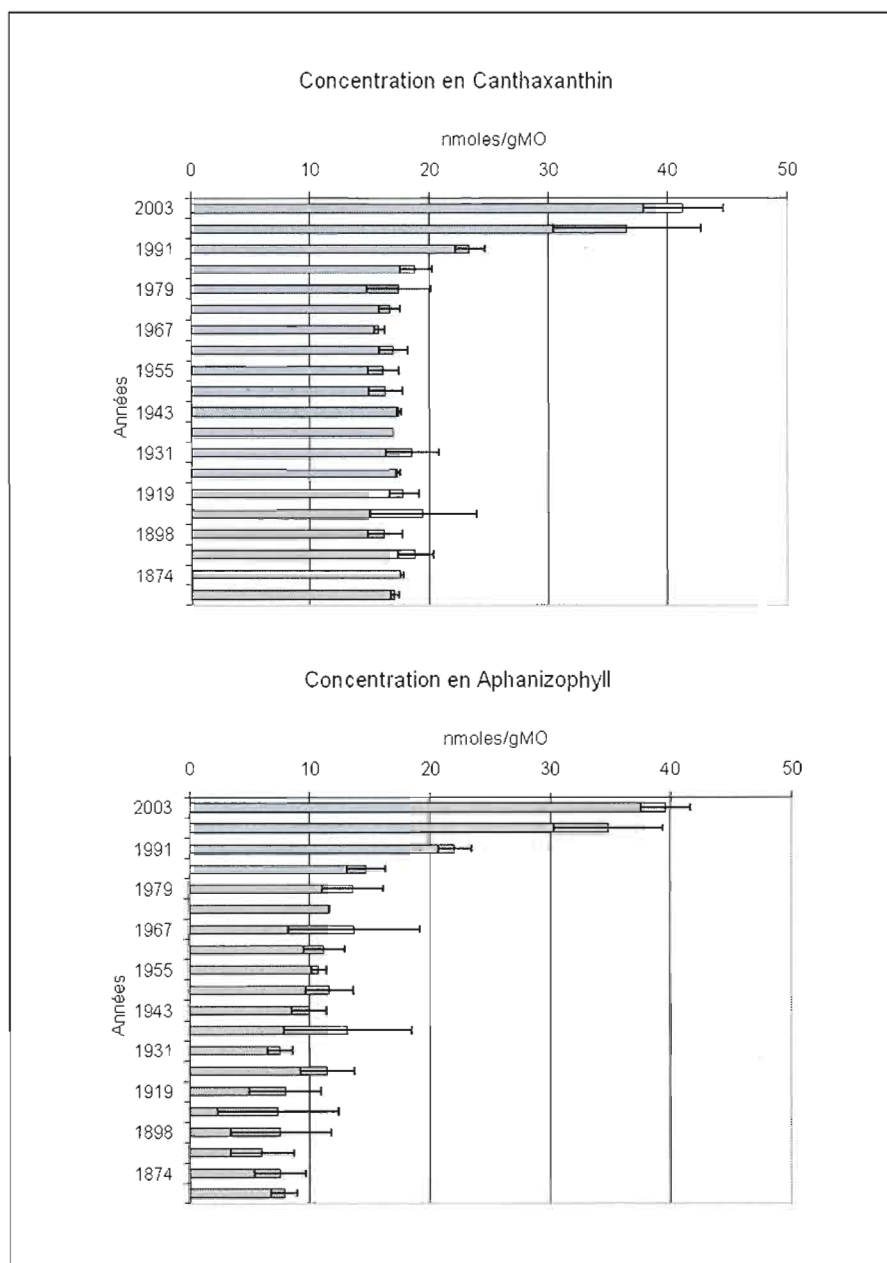


Fig. 3.3 : Stratigraphie des pigments

3.3.3 Stratigraphie des akinètes :

On retrouve des akinètes sur l'ensemble des 25 cm étudiés, indiquant que les cyanobactéries productrices d'akinètes sont présentes dans ce lac depuis au moins 1862 (Fig 3.4). Les akinètes dénombrées sont spécifiques des genres *Anabaena* et *Aphanizomenon*, qui appartiennent aux cyanobactéries filamenteuses ayant la faculté de fixer le N₂. Le nombre d'akinète est maximal pour les quatre premiers centimètres (Fig. 3.4). En effet, le nombre d'akinètes passe de 661654 ± 34714 akinètes/gMO en 1985 à 964607 ± 19378 akinètes/gMO en 2003. On peut en déduire que le nombre d'akinètes et par conséquent les cyanobactéries productrices d'akinètes n'ont cessé de croître pendant cette période. D'une manière générale, le nombre d'akinète est minimal du 25^{ème} au 15^{ème} centimètre, c'est à dire de 1862 à 1910. En effet, le nombre d'akinètes est égal à 234301 ± 47760 akinètes/gMO en moyenne pendant cette période. Les akinètes produites restent donc relativement stable pendant la première phase d'installation des colons. A partir de 1919, on assiste à une augmentation progressive du nombre d'akinète jusqu'en 1973 (excepté une diminution observée vers 1931 et 1973).

Figure 3.4

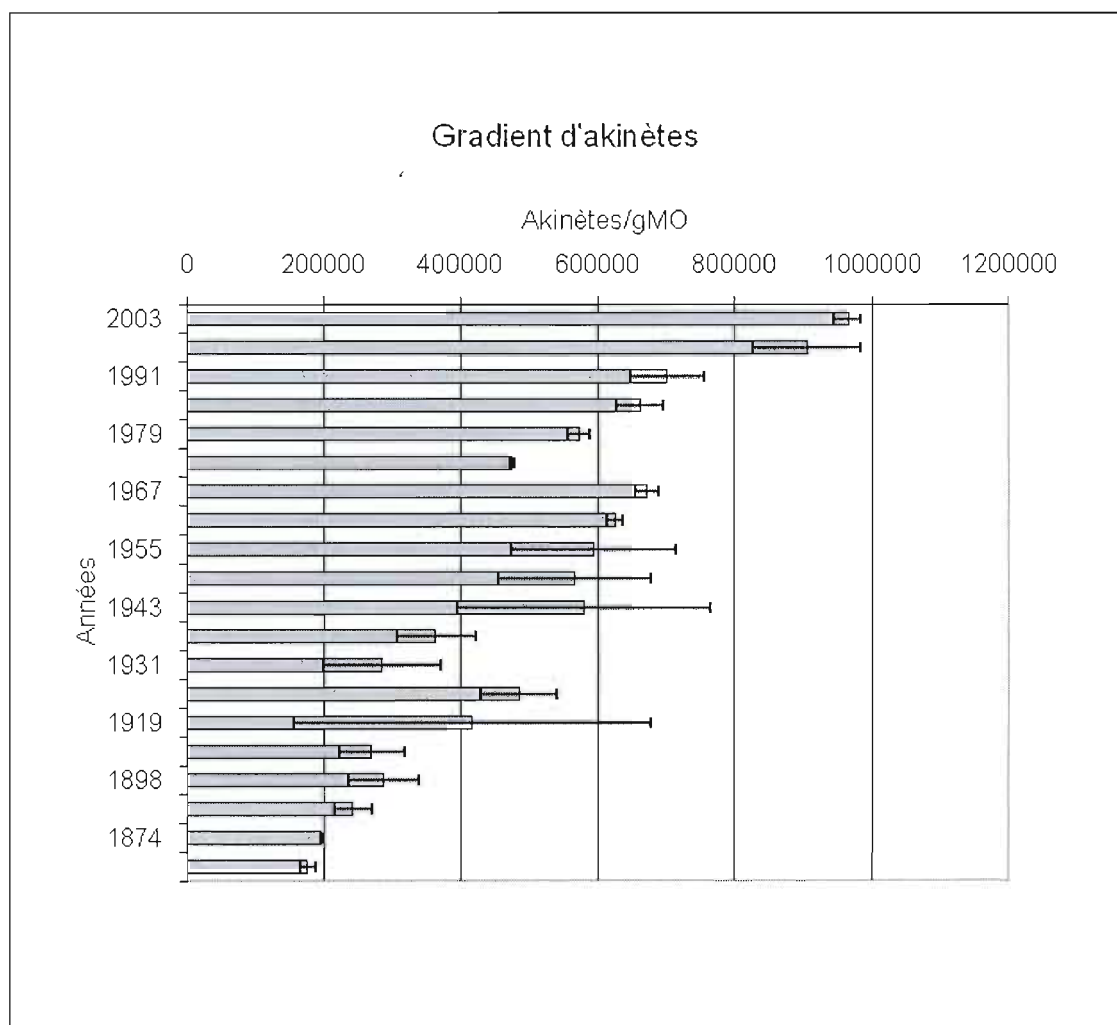
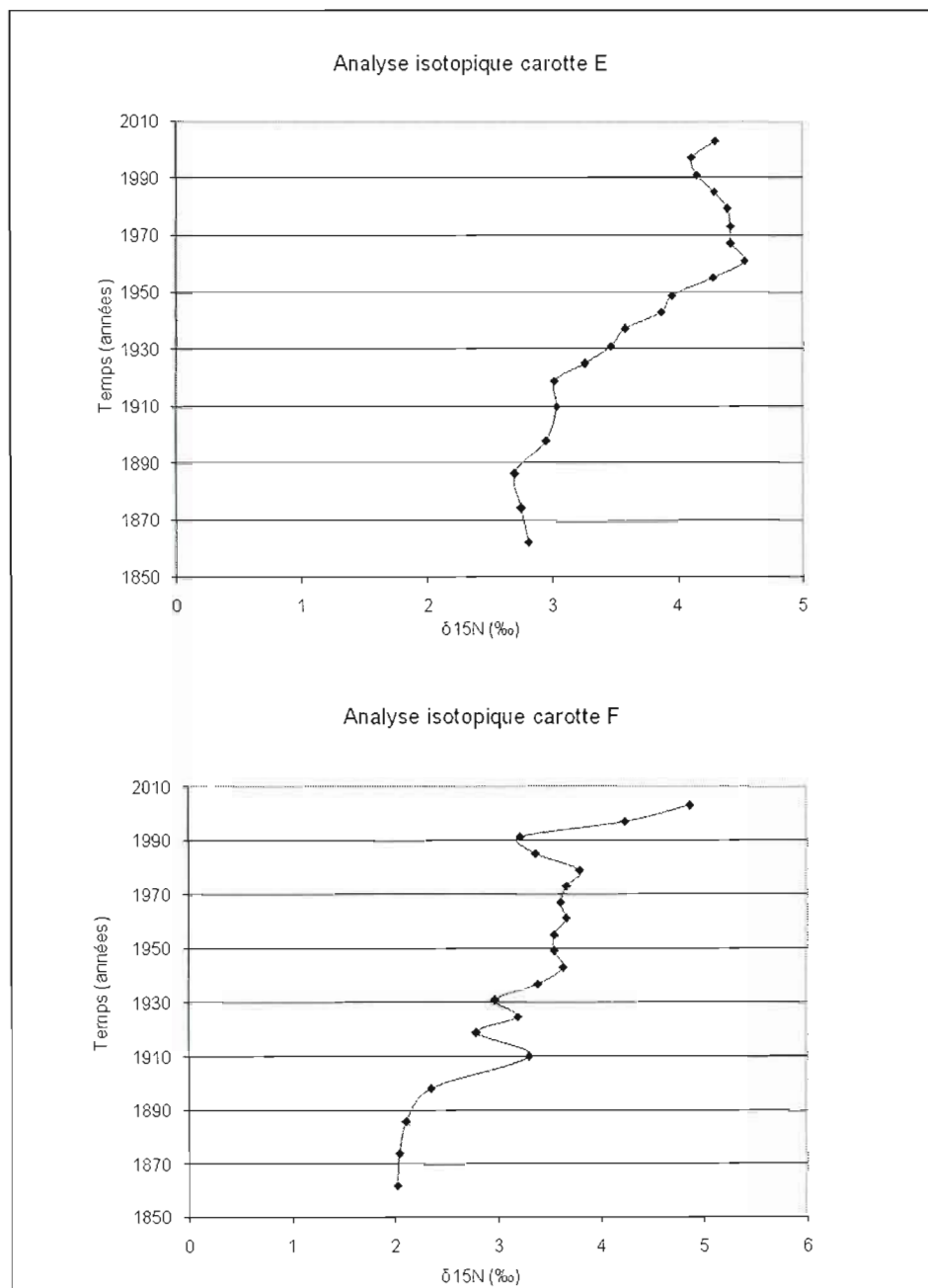


Fig. 3.4 : Stratigraphie des akinètes

3.3.4 Analyses isotopiques de l'azote :

Les profils de $\delta^{15}\text{N}$ obtenus présentent des variations notables entre les deux répliques (fig. 3.5). D'une manière générale, on observe une croissance du ratio $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ pour les deux carottes de 1862 jusqu'aux années 1970. Ainsi, les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ de la carotte E augmentent de 2,8‰ en 1862 à 4,53‰ en 1961. Pour la carotte F, on observe un accroissement des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ de 2,20‰ en 1862 à 3,79‰ en 1979. Par la suite, on observe une décroissance de 4,53‰ en 1961 à 4,11‰ en 1997 pour la carotte E (les deux premiers points, 1997 et 2003, correspondant aux deux premiers centimètres des sédiments ayant subi une bioturbation). Cette tendance ne se retrouve pas pour la carotte F. En effet, on observe une diminution du signal entre 1979 et 1991 (de 3,79‰ à 3,21‰) suivit d'un nouvel accroissement dans la zone de bioturbation.

Figure 3.5

Fig. 3.5: Analyses isotopiques : $\delta^{15}\text{N}$

3.3.5 Relation entre les pigments fossiles et les akinètes :

Il existe une corrélation linéaire positive significative entre le nombre d'akinètes dénombré dans les sédiments et les concentrations en pigments fossiles (Fig. 3.6). Par ailleurs, la relation est plus forte entre le nombre d'akinètes et la concentration en aphanizophyll ($R^2 = 0,71$; $p < 0,0001$) que entre les akinètes et la concentration en canthaxanthine ($R^2 = 0,43$; $p = 0,0016$).

Figure 3.6

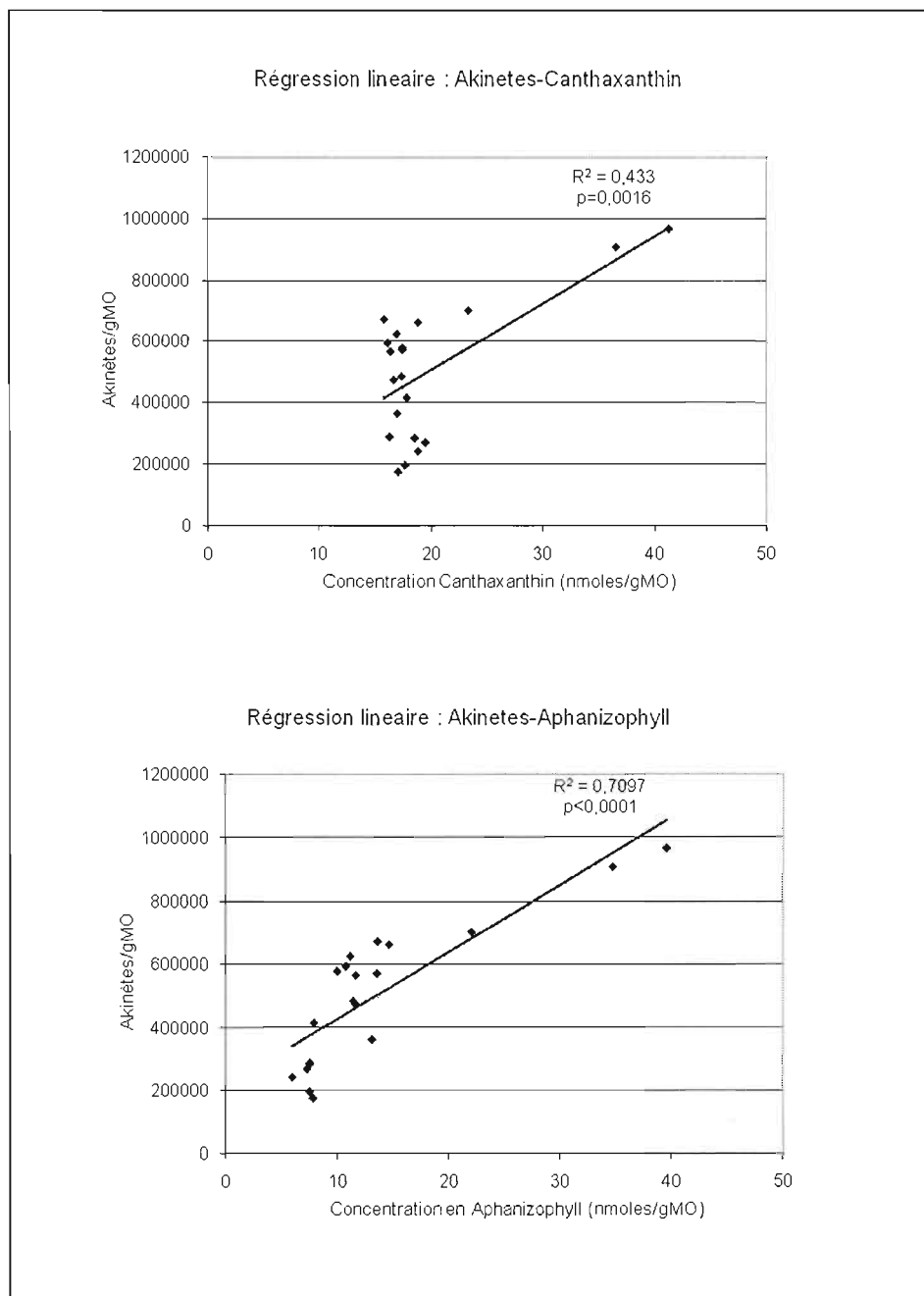


Fig. 3.6 : Régression linéaire : akinètes vs. pigments fossiles.

3.4 Discussion :

3.4.1 Paléotraceurs des cyanobactéries :

La préservation des pigments fossiles est dépendante d'un certains nombres de facteurs propres à chaque milieu. Ainsi, elle varie en fonction de la profondeur de l'écosystème. Elle est réduite sous des conditions intenses de lumière, d'oxygène, de température et de turbulence (Leavitt & Findlay 1994). D'autre part, on sait qu'une production algale intense fait partie des conditions qui tendent à favoriser la préservation des pigments fossiles (Swain, 1985). En réalité, c'est la production algale et les facteurs influençant leur préservation qui vont contrôler la concentration des pigments fossiles sédimentaires.

La concordance entre les pigments fossiles et l'abondance relative en akinètes semble démontrer que les pigments sont bien préservés. Ceci s'explique en partie par les caractéristiques propres du lac. En effet, cet écosystème développe une stratification à la station profonde lors de la saison libre des glaces (Desrochers 1970, Del Giorgio & Prairie 1995, Nurnberg 1998, chapitre II). Cette stratification va stabiliser la colonne d'eau au niveau de l'hypolimnion. Toutefois, de violentes tempêtes peuvent entraîner un brassage de la colonne d'eau au complet et provoquer une resuspension des sédiments superficiels (Del Giorgio & Prairie 1995). Nous savons, qu'au moins pour ces 15 dernières années, une zone anoxique hypolimnétique se développe à la station profonde pendant la saison libre des glaces (Del Giorgio & Prairie 1995, Nurnberg 1998). La stabilité de cette zone anoxique est également sous la dépendance des conditions climatiques. D'autre part, la lumière ne se rend pas jusqu'à l'interface eau-sédiment de la station profonde (chapitre II). Par ailleurs, une sédimentation massive d'algue est observée au lac Brome à la fin de l'été et au début de l'automne depuis au moins 1994 (Del Giorgio & Prairie 1995). Nous avons également observé une forte production cyanobactérienne sur l'ensemble de la colonne d'eau en 2005 (Chapitre II). Les facteurs permettant une bonne préservation des pigments fossiles sédimentaires sont donc présents au lac Brome. Par ailleurs, les akinètes sont produits pour perdurer dans le temps. On peut donc assumer que nos dénombrements sont représentatifs du

nombre d'akinètes qui ont sédimenté à l'interface eau-sédiment. En outre, l'abondance des akinètes que nous avons dénombrés sont comparables aux ordres de grandeurs obtenus pour les études de Kling (1998) et Rasänen & al. (2006). Enfin, nous avons normalisé le nombre d'akinètes en fonction du pourcentage de matière organique (Fig. 3.2), afin de nous assurer que l'accroissement des paléotraceurs observé au niveau des dépôts sédimentaires récents (à partir des années 1970), n'est pas du à un changement relatif du taux de sédimentation des composants organiques vs. inorganiques ou du à une altération diagenétique. Nous pouvons donc assumer que les relations observées entre nos deux paléotraceurs, ne sont pas la résultante d'un artefact. Cependant, il faut tout de même prendre en compte le fait qu'une dégradation préférentielle de l'un des deux paléotraceurs, pourrait être à l'origine du gradient que l'on retrouve dans les carottes prélevés.

Présentement, on sait que la concentration en canthaxanthine fossile que l'on retrouve dans les sédiments est représentative de la biomasse des cyanobactéries filamenteuses (Hall & al. 1999). D'autre part, on peut considérer que la concentration en aphanizophyll fossile est représentative des cyanobactéries ayant la capacité de fixer le N_2 (Leavitt & Findlay 1994, Leavitt & al. 2006). En effet, les caroténoïdes spécifiques d'*Aphanizomenon* (aphanizophyll) d'*Anabaena* (4-keto-myxoxanthophyll), et d'*Oscillatoria* (oscillaxanthin) sont difficiles à séparer avec la chromatographie liquide haute performance (Hall & al. 1999, Leavitt & al. 2006). L'ensemble de ces caroténoïdes est donc présenté comme l'aphanizophyll (Hall & al. 1999, Leavitt & al. 2006). Lors de notre étude, nous avons obtenu une relation positive entre la biomasse estimée des cyanobactéries (filamenteuses et potentiellement fixatrices de N_2) et l'abondance des akinètes préservées dans les sédiments. En théorie, nous aurions dû obtenir des relations très proches entre les akinètes et les deux pigments utilisés. En effet, les akinètes dénombrées dans nos sédiments sont produites par des espèces de cyanobactéries filamenteuses ayant la faculté de fixer l'azote atmosphérique (*Anabaena* sp. et *Aphanizomenon* sp.). La relation avec la canthaxanthine s'explique en partie par le fait que ce pigment est également spécifique des tissus des herbivores (Leavitt & Hodgson 2001). Une quantité de canthaxanthine fossile préservée dans nos sédiments n'est pas due à la

sédimentation du phytoplancton mais peut provenir de la dégradation du tissu des herbivores. D'autre part, la relation entre la canthaxanthin et les akinètes, bien que significative, doit être considérée avec discernement car deux points extrêmes semblent grandement influencer cette relation. La relation entre l'aphanizophyll et les akinètes est plus forte. Cependant, on retrouve des cyanobactéries ayant la capacité de fixer le N_2 qui ne vont pas produire d'akinètes. On peut ainsi citer les Oscillatoriales qui sont capables de fixer le N_2 grâce à la nitrogénase mais ne produisent pas d'akinètes (Patoine & al. 2006). Cet ordre de cyanobactéries a été identifié dans la colonne d'eau du lac Brome. En 2005, deux espèces d'Oscillatoriales ont été présentes de juillet à Octobre (*Oscillatoria tenuis* et *Oscillatoria limosa*), (Appendice III : Dénombrement algal 2005). La présence de ces espèces explique en partie la force de la relation entre l'aphanizophyll et les akinètes. En effet, la concentration en aphanizophyll est relativement constante de 1862 à 1979 puis on observe une croissance importante. Les akinètes ont augmenté de 1920-1930 à aujourd'hui. Cette augmentation progressive des akinètes alors que la concentration en aphanizophyll reste plus ou moins inchangée est le reflet d'un changement dans l'assemblage des cyanobactéries potentiellement fixatrices de N_2 . En d'autres termes, un changement dans l'abondance des akinètes peut s'expliquer par un changement dans l'assemblage du phytoplancton (Kovacs & al. 2003). Une modification de l'assemblage cyanobactérien favorisant les cyanobactéries productrices d'akinètes et ayant la capacité de fixer le N_2 , c'est mis en place à partir du début du 20^{ième} siècle. Ceci explique les tendances que l'on observe entre les différents profils stratigraphiques (concentrations en pigments et abondance des akinètes). Les relations linéaires obtenues, montrent le lien étroit qui existe entre les akinètes et la biomasse estimée des cyanobactéries. Wolfe & al. (1994), ont mis en évidence que l'apparition des akinètes dans les sédiments d'un lac était très certainement le fait de l'émergence de cyanobactéries ayant la capacité de produire ce type de cellule dans la colonne d'eau. Kovacs & al. (2003), ont démontré qu'une augmentation des cyanobactéries productrices d'akinètes dans la colonne d'eau s'accompagne également d'un accroissement significatif de l'abondance des akinètes au niveau des sédiments superficiels. Ainsi, nous pouvons considérer qu'il existe un lien entre l'abondance des akinètes dans les sédiments et les cyanobactéries pélagiques qui se

succèdent dans la colonne d'eau. En outre, c'est la première fois à notre connaissance, que l'on arrive à démontrer ce lien en utilisant deux paléotraceurs qui permettent d'estimer les variations de la communauté cyanobactérienne sur une longue période. Par ailleurs, l'augmentation relative des cyanobactéries estimée grâce aux traceurs paléolimnologiques semble coïncider avec les perturbations anthropiques qui se sont succédé dans le bassin versant du lac à partir du 19^{ième} siècle.

3.4.2 Historique de l'eutrophisation et de la fixation du N₂ au lac Brome :

Au lac Brome, l'augmentation des perturbations anthropiques semble notamment se refléter dans l'accumulation des akinètes dans les sédiments. Les perturbations agricoles, forestières et urbaines se sont multipliées dans le bassin versant de cet écosystème au cours du 20 et 21^{ième} siècles. En autres, à partir des années 1930, on assiste à une intensification des activités agricoles avec une modernisation des infrastructures (Kesteman & al. 1998). De 1920 à 1950, le bassin versant du lac voit notamment l'implantation de fromageries, de scieries, d'usines et d'hôtels (notamment à Knowlton en bordure du lac), (Kesteman & al. 1998). Le réseau de traitement des eaux a été modernisé en 1973 mais n'englobant pas tout les rejets résidentiels et agricoles. Ainsi, on estime en 1991 que 13 millions de gallons de vidanges agricoles brutes (surtout dus à la ferme de canard) se déversent dans le cours d'eau Pearson qui se jette dans le lac Brome (Maly 1991). Cette augmentation des apports agricoles coïncide notamment avec une augmentation abrupte de tous les paléoindicateurs des cyanobactéries étudiés dans le cadre de cette étude. Enfin, de gros projets immobiliers ont vu le jour depuis la fin des années 1970 à proximité du lac, en particulier la construction de complexes hôteliers dans les années 1990 et d'un golf en 1997. Dans un premier temps, les perturbations anthropiques du bassin versant ne semblent pas coïncider avec une augmentation importante des pigments sédimentaires cyanobactériens. En effet, les concentrations en pigments fossiles restent plus ou moins constantes de 1862 à 1979. Néanmoins, l'abondance relative du nombre de cyanobactéries productrices d'akinètes (estimée par le nombre d'akinète), connaît une

croissance continue de 1920-1930 à aujourd'hui. L'augmentation progressive du nombre d'akinetes est en générale le reflet de l'eutrophisation des écosystèmes (Kling 1998). Cette croissance coïncide notamment avec la deuxième phase de peuplement qui a eu lieu à partir de 1920. L'augmentation du nombre d'habitants et surtout les activités agricoles et industrielles qui y sont reliées, peuvent en partie expliquer l'augmentation de l'abondance d'espèces caractéristiques de lac eutrophe ou pollué depuis 1920-1930 (dans ce cas, *Aphanizomenon flos aquae* associé à *Anabaena sp.*), (Prescott 1973). En effet, l'eutrophisation anthropogénique a un impact direct sur la composition des espèces, favorisant des taxons que l'on retrouve typiquement dans des écosystèmes à fortes concentrations en éléments nutritifs (Kling 1998). Les données d'isotope stable montrent un accroissement du ratio $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ pendant cette période. Ceci est probablement le reflet d'un enrichissement en ^{15}N dû à une augmentation des apports (résultant de l'intensification des perturbations anthropiques du bassin), ou à une perte éventuelle de ^{14}N par la dénitrification (Leavitt & al. 2006). A partir des années 1970, les cyanobactéries, estimées grâce aux caroténoïdes fossiles et aux akinètes, augmentent de façon exponentielle jusqu'à ce qu'elles dominent l'assemblage phytoplanctonique. En effet, le dénombrement du phytoplancton effectué par Alain (Alain & al. 1978), montrait que les diatomées dominaient la communauté phytoplanctonique avec 50 à 90% de la biomasse totale, entre mai et septembre 1975 (Alain & al. 1978, fig. O-39-A). Cependant, les cyanobactéries étaient présentes et représentaient plus de 30% de la biomasse totale au mois d'août. Les genres cyanobactériens majoritaires étaient *Anabaena*, *Microcystis*, *Aphanizomenon* et *Oscillatoria* (Alain & al. 1978). Postérieurement, Maly (1991), a trouvé que les genres dominants au mois de juillet 1991 étaient *Anabaena*, *Dinobryon* et *Fragillaria*. Cette étude montrait qu'un bloom d'*Anabaena flos aquae* se développait le 29 août 1991. A l'heure actuelle, le phytoplancton au cours de l'été et au début de l'automne est dominé par les cyanobactéries productrices d'akinetes et ayant la capacité de fixer le N_2 (*Anabaena sp.* et *Aphanizomenon sp.*). Ces organismes représentent jusqu'à 50 % de la biomasse totale du phytoplancton entre juillet et octobre (Chapitre II). L'ensemble des données obtenus tendent donc à démontrer l'eutrophisation progressive qu'a subit le lac Brome à partir du début du 20^{ième} et qui a permis en partie aux

cyanobactéries de dominer la communauté algale. En effet, on sait que la modification de l'assemblage phytoplanctonique et l'augmentation de la fréquence et de l'intensité d'apparition des efflorescences de cyanobactéries sont des conséquences directes de l'eutrophisation (Downing & al. 2001, Huisman & al. 2005).

Par ailleurs, en plus d'accroître les apports externes en P et N, l'eutrophisation va modifier les proportions entre les éléments nutritifs essentiels, pouvant ainsi entraîner une modification de la structure de la communauté phytoplanctonique (Tilman & al. 1982, Lagos & al. 2004). Les données d'éléments nutritifs mesurées des années 1970 à aujourd'hui, montrent que le phosphore a augmenté progressivement de 13 à 31 µg/l et que le ratio N/P a diminué (Appendice II). En 2005, le ratio N/P était égal à 10, reflétant un écosystème limité en azote (Schindler 1978). De plus, la biomasse algale estimée dans la colonne d'eau (grâce à la chlorophylle « *a* ») a été en croissance continue pendant cette période. Celle-ci était égale en moyenne à : 7 µg/l en 1975 (Alain & al. 1975), 10 µg/l en 1996 (Riccardi-Rigault & al. 2000) et de 18 µg/l en 2005 (chapitre II). A l'heure actuelle, on sait qu'une augmentation des concentrations en phosphore et l'accroissement de la biomasse phytoplanctonique qui en découle, augmente les risques de limitation par l'azote (Kling 1998). En effet, une croissance algale en constante augmentation va accroître la quantité de matière organique présente dans l'écosystème. Ceci va entraîner une intensification des processus de dégradation de la matière dans le milieu. La résultante de ce phénomène est notamment une consommation croissante d'oxygène, causé par ces processus (Carpenter & al. 1998). Cet appauvrissement progressif en oxygène peut conduire à une anoxie hypolimnétique. Au lac Brome, une anoxie au niveau de l'hypolimnion a été observée à la station profonde au moins depuis 1995 (Del Giorgio & Prairie 1995, Nürnberg 1998). Celle-ci favorise par ailleurs, un relargage du phosphore accumulé au niveau des sédiments. En effet, on sait que l'anoxie hypolimnétique suivi de brassages de la colonne d'eau sont une façon de promouvoir un enrichissement interne en phosphore (Dixit & al. 2000). Ainsi, on sait que ce relargage interne, résultant de l'anoxie, contribue de manière non négligeable aux apports en phosphore du lac Brome (DelGiorgio & Prairie 1995). De plus, l'anoxie hypolimnétique entraîne également une perte relative en

azote au niveau des sédiments, par le biais de la dénitrification. L'azote est dénitrifié et il s'échappe du système sous forme gazeuse (N_2). Cependant, cette perte est localisée au niveau des sédiments et elle n'a pas une influence capitale sur l'ensemble de la colonne d'eau. Néanmoins, la concentration en azote total varie peu depuis les années 1970 (Appendice II). Malheureusement, il n'y a pas de données disponibles sur les fluctuations des apports externes en azote (naturels et anthropiques), pendant cette période. Il est donc difficile d'estimer si ceux-ci ont stagnés depuis les trente dernières années. Quoi qu'il en soit, la concentration en azote semble être plus ou moins stable depuis les années 1970, alors que la concentration en phosphore augmente progressivement pendant cette période (avec notamment un apport due à une charge interne, résultant de l'anoxie hypolimnétique). Cette concentration en phosphore en constante augmentation va entraîner un accroissement de la production phytoplanctonique (qui se reflète par les dosages de chlorophylle « *a* » depuis les années 1970). Finalement, les concentrations en azote relativement stables pendant les trente dernières années, ne vont plus supporter la croissance algale en constante augmentation (ceci se reflète notamment par la diminution progressive du ratio N/P). La biodisponibilité en azote semble donc être le facteur limitant pour la croissance des espèces phytoplanctoniques n'ayant pas la faculté de fixer le N_2 . Les résultats que nous avons obtenus montrent que la domination des cyanobactéries productrices d'akinètes ayant la capacité de fixer l'azote atmosphérique semble être un phénomène relativement récent. On peut donc penser que ces organismes peu compétitifs ont en partie réussi à dominer la communauté phytoplanctonique grâce à leur faculté de fixer le N_2 , dans un écosystème progressivement limité en N, (Mac Gregor & al. 2001, Havens & al. 2003, Tonno & Noges 2003, Patoine & al. 2006). En outre, les données obtenus montrent que l'on a une concordance entre les fortes concentrations en Aphanizophyll (spécifique des cyanobactéries ayant la capacité de fixer le N_2) et la décroissance du $\delta^{15}N$ dans les sédiments à partir des les années 1970. Cette période correspond également à une limitation progressive en azote qui se reflète par la diminution du ratio N/P. Le recoupement de l'ensemble de nos résultats nous permet d'assumer que les cyanobactéries ont en partie réussi à dominer l'assemblage phytoplanctonique grâce à leur faculté de fixer l'azote atmosphérique lorsque l'azote devient l'élément limitant pour la

croissance phytoplanctonique. Ainsi, *Aphanizomenon* est une espèce qui requière des concentrations en P élevée pour dominer et elle est favorisée avec un ratio N/P faible (Eilers & al. 2004). D'autre part, un faible ratio N/P va privilégier les cyanobactéries au détriment des autres taxons (Schindler 2006). Enfin, Van Geel & al. (1994), ont assumé que l'augmentation de l'abondance des akinètes d'*Anabaena* et d'*Aphanizomenon* était dû à un changement du ratio TN/TP.

3.4.3 Bilan isotopique de l'azote :

Les données de $\delta^{15}\text{N}$ représentent un outil approprié pour reconstruire les fluctuations de l'assemblage phytoplanctonique ainsi que la limitation de la productivité, en particulier pour les lacs qui subissent un impact anthropique avec un apport externe en azote et en phosphore (Teranes & Bernasconi 2000). Les résultats de $\delta^{15}\text{N}$ que nous avons obtenus sont relativement différents entre les deux carottes sédimentaires. Ceci est relativement difficile à expliquer car les deux répliquats ont été prélevés au même endroit dans le lac. D'une manière générale, on observe une croissance du ratio $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ à partir du début du 20^{ième} siècle pour les deux échantillons. Cette phase de croissance des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ est surtout marquée à partir de 1920, période où le canton de Brome a connu une nouvelle phase de peuplement (Kesteman & al. 1998). Ceci pourrait correspondre à un enrichissement en ^{15}N dû à une charge supplémentaire en azote provenant de l'intensification des activités anthropiques (Clark & Fritz 1997). En effet, un apport externe en azote provenant en particulier des activités agricoles et du lessivage d'un bassin versant perturbé par les activités anthropiques peut progressivement accroître les valeurs $\delta^{15}\text{N}$, avec notamment un apport en nitrate enrichie en ^{15}N provenant des déchets animaux et humains (Teranes & Bernasconi 2000). Cependant, on ne peut exclure l'impact éventuel de la dénitrification qui pourrait contribuer également à une augmentation substantielle du $\delta^{15}\text{N}$ (Clark & Fritz 1997). Ainsi, un accroissement du taux de dénitrification, une expansion de la zone anoxique de l'hypolimnion et une augmentation des concentrations en nitrate résultant des apports anthropiques, représente un autre processus

qui peut progressivement enrichir le pool de DIN en ^{15}N entraînant une augmentation du $\delta^{15}\text{N}$. En fait, la dénitrification du NO_3^- par les micro-organismes dans une eau appauvrie en oxygène, va permettre le relargage sélectif de $^{14}\text{N}_2$, laissant le nitrate restant enrichie en ^{15}N (Cline & Kaplan 1975). A partir de 1961, on observe une diminution du $\delta^{15}\text{N}$ pour la carotte E. On peut penser que l'intensification de la fixation de N_2 par les cyanobactéries pourrait être à l'origine de cette diminution. En effet, une présence importante de cyanobactéries fixatrices de N_2 peut accroître la quantité de N_2 fixée dans le milieu et par conséquent diminuer le $\delta^{15}\text{N}$ (Tabolt 2001, Eilers & al. 2004). Ainsi, un accroissement de l'abondance des cyanobactéries fixatrices d'azote, ayant la faculté de fixer directement l'azote atmosphérique N_2 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}} = 0\text{‰}$), pourrait diminuer les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ de la matière organique. Toutefois, la tendance positive observée au niveau des sédiments récents de la carotte E pourrait également être liée à un effet de diagenèse de la matière organique qui peut faire décroître les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$, (Lehmann & al. 2002). Cependant, certains auteurs ont également mis en évidence que la dégradation partielle de la matière organique lors d'un processus de diagenèse, pouvait également conduire à un enrichissement en ^{15}N , entraînant un accroissement du $\delta^{15}\text{N}$ (Freudenthal & al. 2001). Néanmoins, le profil obtenu pour l'autre carotte ne confirme pas la diminution des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$. En effet, ce réplikat présente une décroissance du signal entre 1979 et 1997, suivit d'une augmentation à partir de 1997. Il est donc difficile d'affirmer à partir de nos seules données d'isotope stable que l'on a une augmentation des cyanobactéries fixatrices de N_2 dans l'écosystème à partir des années 1960.

En conclusion, les données obtenues nous ont permis de montrer l'importance des akinètes, comme traceur paléolimnologique, pour étudier l'évolution des fleurs d'eau cyanobactériennes. Les données collectées sur les perturbations du bassin versant ont supporté l'évolution des indicateurs paléolimnologiques utilisés. Les paléotraceurs biologiques semblent cependant être plus sensibles que les données de $\delta^{15}\text{N}$ mesurées dans les sédiments. Toutefois, la canthaxanthin semble être un paléotraceur moins précis que l'aphanizophyll pour retracer l'historique des cyanobactéries. D'autre part, les résultats

obtenus prouvent que l'on peut relier les modifications des indicateurs chimiques et biologiques dans les écosystèmes lacustres, avec les perturbations anthropiques qui se succèdent dans le bassin versant au fil du temps. Nos données confirment ainsi le lien qui existe entre le ratio N/P et la formation des efflorescences de cyanobactéries. Enfin, ces résultats valident l'utilité des paléotraceurs sédimentaires pour retracer l'historique des cyanobactéries dans le temps. En effet, la double approche méthodologique (pigment et akinète) semble être une méthode robuste pour retracer les changements historiques de la communauté cyanobactérienne. Non seulement les deux paléotraceurs utilisés sont bien corrélés l'un avec l'autre, mais ils concordent également avec les données mesurées dans la colonne d'eau au fil du temps (PT, NT, NT/PT). Néanmoins, il serait intéressant d'approfondir nos conclusions en étudiant d'autres écosystèmes présentant des efflorescences de cyanobactéries de même type (mêmes conditions environnementales; induites par les activités humaines ; dominance d'espèces fixatrices de N_2 et productrices d'akinètes). On pourrait ainsi vérifier que les tendances observées ne sont pas spécifiques au lac Brome.

3.5 Références :

Alain J., Gentes P., Le Rouzes M. & Mathieu P. 1978. Etude limnologique lac Brome. Gouvernement du Québec, Ministère des richesses naturelles, Direction générale des eaux, Québec.

Barbiero, R.P. & Welch E.B. 1992. Contribution of benthic blue-green algal recruitment to lake populations and phosphorus translocation. *Fresh. Biol.* 27: 249-260.

Barica J. 1987. Water quality problems associated with high productivity of prairie lakes in Canada : A review. *Wat. Qual. Bull.* 12 : 107-115.

Bélanger B. 1981. Etude Limnologique : synthèse du lac Brome. Ministère de l'environnement, Québec.

Bradbury J.P., Colman S.M. & Reynolds R.L. 2004. The history of recent limnological changes and human impact on upper Klamath Lake, Oregon. *J. Paleolimnol.* 31 : 151-165.

Carpenter S.R., Caraco N.F., Correll D.L., Howarth R.W., Sharpley N. & Smith V.H. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Appli.* 8 : 559-568.

Clark I.D. & Fritz P. 1997. Environmental isotopes in hydrogeology. Lewis Publishers. New York.

Cline J.D. & Kaplan I.R. 1975. Isotopic fractionation of dissolved nitrate during denitrification in the eastern tropical North Pacific Ocean. *Mar. Chem.* 38 : 453-477.

Dean, W.E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition : comparison with other methods. *J. Sediment. Petrol.* 44 : 242-248.

Del Giorgio P. & Prairie Y. 1995. Brome Lake Project. A report to the town of Brome Lake. UQAM, Montréal.

Desrochers R. 1970. Brome Lake : an eutrophic lake. A report to the town of Brome lake. Sherbrooke University, Sherbrooke.

Dixit A.S., Hall R.I., Leavitt P.R., Quinlan R. & Smol J.P. 2000. Effects of sequential depositional on lake response to urban and agricultural pollution : a palaeoecological analysis of the Qu'Appelle Valley, Saskatchewan, Canada. *Fresh. Biol.* 43 : 319-337.

Downing J.A., Watson S.B. & McCauley E. 2001. Predicting cyanobacteria dominance in lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58 : 1905-1908.

Eilers J.M., Kann J., Cornett J., Moser K. & St Amand A. 2004. Paleolimnological evidence of change in a shallow, hypereutrophic lake : Upper Klamath Lake, Oregon, USA. *Hydrobiologia* 520: 7-18.

Flynn W.W. 1968. The determination of low levels of polonium-210 in environmental materials. *Anal. Chem. Acta*, 43 : 221-227.

Fogg G.E., Stewart W.D.P., Fay P. & Walsby A.E. 1973. The blue-green algae. Academic press, London & New York.

Freudenthal T., Wagner T., Wenzhöfer F., Zabel M. & Wefer G. 2001. Early diagenesis of organic matter from sediments of the eastern subtropical Atlantic : Evidence from stable nitrogen and carbon isotopes. *Geochim. & Cosmochim. Acta*, 65 : 1795-1808.

Hall R.I., Leavitt P., Quinlan R., Dixit A.S. & Smol J.P. 1999. Effects of agriculture, urbanization and climate on water quality in the northern Great plains. *Limnol. Oceanogr.* 44 : 739-756.

Havens K.E., James R.T., East T.L. & Smith V.H. 2003. N:P ratios, light limitation and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution. *Environ. Pollut.* 122 : 370-687.

Herdman M. 1987. Akinetes : structure and function. In : The cyanobacteria. Fay & Van Baalen (eds). Elsevier. Amsterdam, pp : 227-250.

Huisman J., Matthijs H. C. P. & Visser P.M. 2005. Harmful cyanobacteria. Springer, Berlin.

Jouanneau J.M., Castaing P., Grousset F., Bua-Menard P. & Pedemay P. 1999. Recording and chronology of a cadmium contamination by Cs-137 in the Gironde estuary (SW France). Comptes rendus de l'académie des sciences serie II, Fascicule a-Sciences de la terre et des planètes 329: 265-270.

Kesteman J.P., Southam P. & Saint-Pierre D. 1998. Histoire des Cantons de l'Est. Institut québécois de recherche sur la culture. Sainte-Foy (eds). Québec.

Kim B.H., Lee W.S., Kim Y.O. & Han M.S. 2005. Relationship between akinetes germination and vegetative population of *Anabaena flos-aquae* (Nostocales, Cyanobacteria) in Soekchon reservoir (Seoul, Korea). Archiv. fur Hydrobiol. 163 : 49-64.

Kling H.J. 1998. A summary of past and recent plankton of Lake Winnipeg, Canada using algal fossil remains J. Paleolimnol. 19 : 297-307.

Kovacs A.W., Koncz E. & Vörös L. 2003. Akinetes abundance of N₂-fixing cyanobacteria in sediment of lake Balaton (Hungary). Hydrobiologia, 506-509 : 181-188.

Lagus A., Suomela J., Weithoff G., Heikkilä K., Helminen H. & Sipura J. 2004. Species-specific differences in phytoplankton responses to N and P enrichments and the N:P ratio in the archipelago sea, northern Baltic Sea. J. Plankton Res., 26 : 779-798.

Leavitt, P.R., Carpenter, S.R. & Kitchell J.F. 1989. Whole-lake experiments: The annual record of fossil pigments and zooplankton. *Limnol. Oceanogr.* 34 : 700-717.

Leavitt, P.R. & Findlay, D.L. 1994. Comparison of fossil pigments with 20 years of phytoplankton data from eutrophic lake 227, Experimental lakes area, Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 2286-2299.

Leavitt P.R. & Hodgson D.A. 2001. Sedimentary pigments. In : Tracking environmental change using lake sediments volume 3 : Terrestrial, algal and siliceous indicators. Last and Smol (eds). Kluwer academic publishers. Dordrecht, pp: 295-325.

Leavitt P.R., Brock C.S., Ebel C. & Patoine A. 2006. Landscape-scale effects of urban nitrogen on a chain of freshwater lakes in central North America. *Limnol. Oceanogr.* 51 : 2262-2277.

Lehmann M.F., Bernasconi S.M., Barbieri A. & McKensie J. 2002. Preservation of organic matter and alteration of its carbon and nitrogen isotope composition during simulated and in situ early sedimentary diagenesis. *Geochim. & Cosmochim. Acta*, 66 : 3573-3584.

Mac Gowan S. & Britton G. 1999. Ancient blue-greens blooms. *Limnol. Oceanogr.* 44 : 436-439.

Mac Gregor B., Van Mooy B., Baker B.J., Mellon P.H., Moisander P.H., Paerl H.W., Zehr J., Hollander D. & Stahl D. 2001. Microbiological, molecular biological and stable isotopic evidence for nitrogen fixation in the open waters of Lake Michigan. *Environn, Microbiol.* 3: 205-219.

Maly E.J. 1991. Trophic status, pollution levels, with some recommendations for the mangement of Lake Brome. A report to the town of Brome Lake. Concordia Univ., Montréal.

Mantoura, R.F.C. & Llewelyn C.A. 1983. The rapid determination of algal chlorophyll and carotenoid pigments and their breakdown products in natural waters by reverse phase high-performance liquid chromatography. *Anal. Chim. Acta* 151 : 297-314.

Millie D.F., Dionigi C.P., Schofield O., Kirpatrick G.J. & Tester P.A. 1999. The importance of understanding the molecular, cellular and ecophysiological bases of harmful algal blooms. *J. Phycol.* 35 : 1353-1355.

Nürnberg G. K. 1998. Evaluation of the water quality and restoration options of Brome Lake. Freshwater Research, Baysville, Ontario.

Paerl H.W. 1988. Growth and reproductive strategies of blue-green algae (Cyanobacteria). In: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Sandgren (eds). Cambridge university Press, Cambridge, pp: 261-315.

Parry R. 1998. Agricultural phosphorus and water quality: a U.S. Environmental Protection Agency. *J of environ. Quality* 27 : 258-261.

Patoine A. , Graham M.D. & Leavitt P.R. 2006. Spatial variation of nitrogen fixation in lakes of the Northern Great Plains. *Limnol. Oceanogr.* 51 : 1665-1677.

Prescott G.W. 1973. *Algae of the Western Great Lakes area*. Otto Koeltz Science Publishers. Koenigstein, Germany.

Rasänen J., Kauppila T. & Vuorio K. 2006. Sediment and phytoplankton records of the cyanobacterial genus *Anabaena* in boreal Lake Pyhäjärvi. *Hydrobiologia* 568 : 455-465.

Ricciardi-Rigault, M., Bird, F.D. & Prairie Y.T. 2000. Changes in sediment viral and bacterial abundances with hypolimnetic oxygen depletion in a shallow eutrophic lac Brome (Quebec, Canada). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56: 1284-1290.

Schindler D.W. 1978. Factors regulating phytoplankton production and standing crop in the world's freshwaters. *Limnol. Oceanogr.* 23 : 478-486.

Schindler D.W. 2006. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnol. Oceanogr.* 51 : 356-363.

Smith V.H., Joye S.B. & Howarth R.W. 2006. Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. *Limnol. Oceanogr.* 51 : 351-355.

Sorgente D., Frignani M., Langone L. & Ravaioli M. 1999. Chronology of marine sediments, interpretation of activity-depth profiles of ^{210}Pb and other radioactive tracers, Part I. Consiglio nazionale delle ricerche istituto per la geologia marine Bologna, Technical Report n54. Bologna.

Swain E.B. 1985. Measurement and interpretation of sedimentary pigments. *Fresh. biol.* 15 : 53-75.

Talbot M.R. 2001. Nitrogen isotopes in paleolimnology. In, *Tracking environmental change using lake sediments volume 2 : Physical and geochemical methods*. Last and Smol (eds). Kluwer. Dordrecht, pp : 401-439.

Taylor E.M. 1908. *History of Brome County, Quebec*. J. Lovell, Montreal.

Teranes J.L. & Bernasconi S. M. 2000. The record of nitrate utilisation and productivity limitation provided by $\delta^{15}\text{N}$ values in lake organic matter-A study of sediment trap and core sediments from Baldeggersee, Switzerland. *Limnol. Oceanogr.* 45: 801-813.

Tilman D., Kilham S.S., & Kilham P. 1982. Phytoplankton community ecology : the role of limiting nutrients. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 13 : 349-372.

Tonno I. & Nöges T. 2003. Nitrogen fixation in a large shallow lake : Rates and initiation conditions. *Hydrobiologia* 490 : 23-30.

Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkmmnung des quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Internat. Ver. Fur Theoret. Angew. Limnol.* 9 : 1-38.

Van Geel B., Mur L.R., Ralska-Jasiewiczowa M. & Goslar T. 1994. Fossil akinetes of *Aphanizomenon* and *Anabaena* as indicators for medieval phosphate-eutrophication of Lake Gosciaz (Central Poland). *Rev. Paleob. Palynol.* 83 : 97-105.

Whitton, B.A. & Potts M. 2000. Introduction to cyanobacteria. In: The ecology of cyanobacteria : Their diversity in time and space. Whitton & Potts (eds). Kluwer academic publishers. Dordrecht, pp : 563-583.

Wolfe B., Kling H., Brunskill G. & Wilkinson P. 1994. A case for multiple dating approach : a lake 227 freeze core ; an experimentally fertilized lake with varved sediments. *Can. J. Fish. Aquat. Sc.* 51 : 2274-2285.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude avait notamment pour objectif d'étudier l'évolution des cyanobactéries depuis l'installation des premiers colons aux alentours d'un lac soumis à des efflorescences récurrentes de ces algues, au cours des 15 dernières années. Lors de nos campagnes de terrain, nous avons clairement identifié la présence dans la colonne d'eau, de cyanobactéries potentiellement toxiques capables de produire des akinètes et ayant la capacité de fixer le N_2 . La présence de ces organismes n'est pas un phénomène récent puisque nos résultats paléolimnologiques indiquent qu'ils sont présents au lac Brome depuis au moins 150 ans. Cependant la dominance des cyanobactéries, que l'on peut observer actuellement lors de la saison libre des glaces, semble s'être progressivement mise en place à partir de la fin des années 1970. De nos jours, on peut observer la succession d'efflorescences de cyanobactéries ayant la faculté de synthétiser des toxines et caractéristiques d'un milieu eutrophe. Il est donc primordial d'améliorer notre compréhension sur les mécanismes et les conditions environnementales qui vont favoriser le développement de ces fleurs d'eau, pour pouvoir émettre des recommandations permettant d'atténuer ce problème. Ceci est d'autant plus important que cet écosystème est utilisé à des fins récréatives par les riverains et les vacanciers.

Dans le but de mieux comprendre l'évolution des efflorescences cyanobactériennes dans le temps, nous avons prélevé des carottes sédimentaires à la station profonde du lac. Cette étape avait pour but de montrer le lien potentiel reliant l'abondance des akinètes dans les sédiments et les cyanobactéries dans la colonne d'eau. Nos résultats révèlent qu'il existe une relation significative entre les akinètes conservées dans les sédiments et les pigments fossiles sédimentaires spécifiques des cyanobactéries. Les pigments fossiles spécifiques étant représentatifs de la biomasse cyanobactérienne qui se succède dans la colonne d'eau, cette relation entre les deux paléotraceurs confirme le lien étroit qui existe entre la germination des akinètes et le développement des efflorescences pélagiques.

En outre, nous avons prélevés des échantillons d'eau et de sédiment au cours de la saison 2005, dans le but d'évaluer s'il existait un site privilégié pour le recrutement des cellules de résistances cyanobactériennes. Nous avons étudié deux stations (une littorale et une profonde), afin d'estimer l'inoculum théorique présent à chaque site. Nous avons également étudié le développement benthique des espèces cyanobactériennes dominantes en 2005 (*Anabaena flos aquae*, *Anabaena planctonica*, *Aphanizomenon flos aquae*). Nous avons uniquement pu observer la phase de germination initiale d'*Anabaena planctonica* qui était la seule espèce à ne pas être en phase de croissance active au mois de juillet. Nous avons retrouvé une « seed-bank » théorique à chaque station pour cette espèce. Par ailleurs, le développement benthique d'*A. planctonica* pour les deux sites est quasiment identique. Ces données suggèrent qu'il n'y pas un site unique de recrutement benthique des populations cyanobactériennes. La zone littorale et profonde peuvent donc potentiellement représenter un inoculum pour le développement des populations pélagiques, uniquement si des conditions environnementales précises sont réunies (températures suffisamment élevées, disponibilité en nutriments,). Cependant, ces observations s'appliquent surtout à des lacs peu profonds. En effet, des lacs avec une profondeur maximale élevée risquent de ne pas présenter les conditions environnementales nécessaires à la germination des akinètes dans l'eau profonde (par exemple une température trop faible au niveau de l'hypolimnion,....).

Enfin, nous avons étudié différents traceurs paléolimnologiques spécifiques des cyanobactéries, pour retracer l'évolution historique de ces organismes en accord avec les perturbations du bassin versant du lac Brome, depuis 1850. L'étude des fluctuations temporelles des cyanobactéries ayant la capacité de fixer le N_2 couplé à l'évolution des concentrations en éléments nutritifs depuis les années 1970, suggèrent que ces organismes ont en partie réussi à dominer l'assemblage phytoplanctonique grâce à leur faculté de fixer le N_2 . En effet, nous avons observé une décroissance du ratio N/P durant les 30 dernières années. À l'heure actuelle, ce ratio est le reflet d'un milieu limité en azote. Les données obtenues grâce aux paléotraceurs ont montré que les cyanobactéries ayant la capacité de fixer

le N_2 ont connu une croissance continue pendant cette période, jusqu'à la domination de l'assemblage phytoplanctonique. En accord avec l'interprétation de nos données paléolimnologiques et biologiques, le ratio $^{15}N/^{14}N$ présente une décroissance des années 1970 à aujourd'hui. La décroissance des valeurs de $\delta^{15}N$ indiquent une présence croissante des organismes ayant la faculté de fixer l'azote atmosphérique (N_2) dans la colonne d'eau, ce qui se reflète par un ratio $^{15}N/^{14}N$ relativement bas. Le recoupement de l'ensemble des résultats suggère donc fortement que les cyanobactéries ont en partie réussies à dominer de par leur faculté à fixer le N_2 , dans un écosystème progressivement limité en azote. Le fait que l'expansion des cyanobactéries c'est mise en place après les années 1970, suggèrent que les activités anthropiques ont eu un impact important sur les constantes chimiques et biologiques de l'écosystème, favorisant ainsi la prolifération des cyanobactéries. En réalité, nos données tendent donc à confirmer le lien qui existe entre le ratio N/P et le développement des cyanobactéries ayant la capacité de fixer l'azote atmosphérique (N_2).

Perspectives futures :

Finalement, ce projet de recherche s'est avéré pertinent car il nous a fourni des informations améliorant notre compréhension sur la relation qui existe entre les perturbations du bassin versant et le développement des fleurs d'eau cyanobactériennes. Cependant, il serait intéressant de se servir de ce projet comme référence pour réaliser d'autres études qui affinaient nos conclusions. Ainsi, il serait utile d'étudier d'autres lacs présentant les mêmes caractéristiques morphométriques, le même type de perturbation du bassin versant, avec un développement cyanobactérien comparable, pour s'assurer que la tendance observée entre les akinètes et les pigments fossiles n'est pas spécifique au lac Brome. De plus, pour s'assurer qu'il n'existe pas de zone privilégiée pour le recrutement des formes de résistances cyanobactériennes, il serait intéressant de multiplier les stations d'études au niveau de la zone littorale et profonde. De plus, il serait important d'étudier d'autres écosystèmes présentant

des caractéristiques topographiques différentes (par exemple des lacs plus profonds) pour voir si on observe des tendances comparables. Enfin, pour approfondir nos conclusions sur le lien qui existe entre le ratio N/P et l'abondance relative des cyanobactéries ayant la capacité de fixer le N_2 , il serait profitable de prélever des carottes sédimentaires dans un écosystème qui présente les mêmes caractéristiques que le lac Brome mais où l'on dispose d'une banque de donnée en éléments nutritifs mesurée chaque année par la même équipe de recherche, pendant un laps de temps comparable.

APPENDICE

Appendice I :

Évolution des apports externes en phosphore entre 1970 et 1980 au lac Brome

	Apports naturels	Apports Des eaux résiduelles non traitées	Apports de la population animale	Engrais chimiques et fertilisants
1970 (Alain & al., 1978)	42,28%	17,72%	33,02%	6,99%
1980 (Bélanger,1981)	40,7%	31,9%	22,8%	4,4%

Appendice II :

Évolution des éléments nutritifs dans la colonne d'eau du lac Brome (moyenne à la station profonde pendant la saison libre des glaces) :

Année	PT (µg/l)	NT (µg/l)	NT/PT	<u>Référence</u>
1974	13	355	27	Gouvernement du Québec, 1974
1975	10	300	30	Gouvernement du Québec, 1975
1976	8	200	25	Nürnberg 1998
1977	6	160	27	Bélanger 1981
1978	12	400	33	Bélanger 1981
1979	10	160	16	Bélanger 1981
1994	21	504	24	DelGiorgio & Prairie 1994
1995	18	329	18	DelGiorgio & Prairie, 1995
1996	18	373	21	DelGiorgio & Prairie 1996
2001	20	360	18	Rolland & al. 2005
2005	31	317	10	Normand Marleau & Thomas 2005

Appendice III :

Dénombrement algal 2005

Date	Station	Prof	Répliq	Groupe	Espèce	Abondance(cell/l)	Biomasse(µg/l)
23/07/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	11856867,5	5,96
23/07/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	1450120,48	20,5
23/07/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	682409,64	40,94
23/07/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	213253,01	2,01
23/07/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	85301,2	5,36
23/07/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Aphanothece microscopica	255903,61	2,41
23/07/2005	Littorale	0m	1	Chlorophytes	Selenastrum minutum	42650,6	3,75
23/07/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	170602,41	12,86
23/07/2005	Littorale	0m	1	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa naegeli	127951,81	34,3
23/07/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Stichogloea doederleinii	725060,24	25,63
23/07/2005	Littorale	0m	1	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	42650,6	1,21
23/07/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	15590,14	1,02
23/07/2005	Littorale	0m	1	Diatomées	Tabellaria fenestrata	4677,04	3,27
23/07/2005	Littorale	0m	1	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	3118,03	0,51
23/07/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	293094,54	22,1
23/07/2005	Littorale	0m	1	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	1559,01	3,26
23/07/2005	Littorale	0m	1	Diatomées	Fragilaria crotonensis	4677,04	1,47
23/07/2005	Littorale	0m	1	Diatomées	Synedra acus	779,51	0,46
23/07/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	2338,52	0,63
23/07/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	121603,05	4,3
23/07/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	39754,84	2,5
23/07/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	12549119,6	6,31
23/07/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	590546,8	5,57
23/07/2005	Littorale	0m	2	Chlorophytes	Selenastrum minutum	98424,47	1,39
23/07/2005	Littorale	0m	2	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris irregularis	49212,23	1,74
23/07/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1230305,84	61,84
23/07/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Uroglena americana	295273,4	52,18
23/07/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	1722428,17	3,04
23/07/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	121603,05	4,3
23/07/2005	Littorale	0m	2	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	1559,01	4,23
23/07/2005	Littorale	0m	2	Chlorophytes	Scenedesmus bijuga	3118,03	0,07
23/07/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	3118,03	0,84
23/07/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	91981,8	6,02

23/07/2005	Littorale	0m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	17928,66	6,45
23/07/2005	Littorale	0m	2	Chlorophytes	Scenedesmus quadricauda	3118,03	2,66
23/07/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	48329,42	3,04
23/07/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	364029,65	23,83
23/07/2005	Littorale	0m	2	Pyridinées	Ceratium hirundinella	779,51	6,38
23/07/2005	Littorale	0m	2	Chlorophytes	Mougeotia sp.	3897,53	33,06
23/07/2005	Littorale	0m	2	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	9354,08	1,88
23/07/2005	Littorale	0m	2	Diatomées	Synedra ulna	779,51	10,52
23/07/2005	Littorale	0m	2	Chlorophytes	Oocystis lacustris	779,51	2,52
23/07/2005	Littorale	0m	2	Diatomées	Achantes minutissima	779,51	0,15
23/07/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	11023540,3	5,54
23/07/2005	Littorale	0m	3	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1377942,54	69,26
23/07/2005	Littorale	0m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	639759,04	31,66
23/07/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	49212,23	1,39
23/07/2005	Littorale	0m	3	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	49212,23	2,63
23/07/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	492122,34	0,87
23/07/2005	Littorale	0m	3	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	246061,17	16,1
23/07/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	836607,97	7,88
23/07/2005	Littorale	0m	3	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris irregularis	98424,47	3,48
23/07/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Melosira italica subarctica	2338,52	7,41
23/07/2005	Littorale	0m	3	Chrysophytes	Gloeocystis vesiculosa	19487,67	2,2
23/07/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Tabellaria fenestrata	1559,01	1,31
23/07/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Navicula radiosa tenella	779,51	0,33
23/07/2005	Littorale	0m	3	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	2338,52	3,78
23/07/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	104453,9	4,43
23/07/2005	Littorale	0m	3	Chrysophytes	Eudorina elegans	12472,11	8,69
23/07/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Gomphonema angustatum	779,51	1,23
23/07/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	3118,03	4,07
23/07/2005	Littorale	0m	3	Euglénales	Trachelomonas sp.	1559,01	4,76
23/07/2005	Littorale	0m	3	Chlorophytes	Oocystis elliptica minor	3118,03	3,92
23/07/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	465365,53	29,24
23/07/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	10838270,7	5,45
23/07/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	1241885,19	93,64
23/07/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1016087,88	60,97
23/07/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Chlamydomonas dinobryonii	112898,65	3,99
23/07/2005	Littorale	3m	1	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	37632,88	5,59
23/07/2005	Littorale	3m	1	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	37632,88	2,84
23/07/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	150531,54	2,13
23/07/2005	Littorale	3m	1	Chlorophytes	Scenedesmus incrassatulus mononae	150531,54	20,81
23/07/2005	Littorale	3m	1	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	75265,77	25,54
23/07/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	112898,65	93,37
23/07/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	1279518,07	45,22
23/07/2005	Littorale	3m	1	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	188164,42	6,31

23/07/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	19487,67	1,96
23/07/2005	Littorale	3m	1	Diatomées	Melosira italica	6236,05	13,71
23/07/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	1559,01	0,05
23/07/2005	Littorale	3m	1	Diatomées	Fragilaria crotonensis	18708,16	14,31
23/07/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	282181,44	31,91
23/07/2005	Littorale	3m	1	Pyridinées	Ceratium hirundinella	1559,01	358,34
23/07/2005	Littorale	3m	1	Diatomées	Tabellaria fenestrata	3118,03	6,68
23/07/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	5456,55	0,18
23/07/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	14031,12	8,93
23/07/2005	Littorale	3m	1	Chlorophytes	Mougeotia sp.	16369,64	13,86
23/07/2005	Littorale	3m	1	Diatomées	Navicula pupula	779,51	2,67
23/07/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	9521119,77	4,79
23/07/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1016087,88	51,07
23/07/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Oochromonas globosa	903189,23	177,34
23/07/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	150531,54	11,82
23/07/2005	Littorale	3m	2	Chlorophytes	Monoraphidium minutum	112898,65	5,59
23/07/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Uroglena americana	112898,65	9,93
23/07/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	564493,27	63,84
23/07/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Aphanocapsa planctonica	1091353,65	15,43
23/07/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Chlamydomonas dinodryonii	75265,77	2,66
23/07/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	313361,71	36,92
23/07/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	18708,16	3,31
23/07/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	5456,55	1,96
23/07/2005	Littorale	3m	2	Pyridinées	Ceratium hirundinella	2338,52	238,9
23/07/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Navicula radiosa tenella	779,51	0,67
23/07/2005	Littorale	3m	2	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	28841,75	19,98
23/07/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Tabellaria fenestrata	18708,16	30,31
23/07/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	779,51	0,03
23/07/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	16369,64	4,17
23/07/2005	Littorale	3m	2	Chlorophytes	Cosmarium boeckii	779,51	11,64
23/07/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Melosira italica	9354,08	8,46
23/07/2005	Littorale	3m	2	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	3118,03	0,86
23/07/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	39754,84	4,22
23/07/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	10321445,8	5,19
23/07/2005	Littorale	3m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	1578072,29	312,33
23/07/2005	Littorale	3m	3	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1706024,1	204,72
23/07/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	85301,2	6,43
23/07/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Scenedesmus quadricauda	170602,41	8,44
23/07/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	341204,82	38,59
23/07/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Chlamydomonas dinobryonii	42650,6	3,22
23/07/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	298554,22	4,22
23/07/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	298554,22	19,54
23/07/2005	Littorale	3m	3	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	42650,6	16,88

23/07/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	213253,01	21,44
23/07/2005	Littorale	3m	3	Diatomées	Tabellaria fenestrata	6236,05	9,39
23/07/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Cosmarium minimum	779,51	0,13
23/07/2005	Littorale	3m	3	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	779,51	0,8
23/07/2005	Littorale	3m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	6236,05	9,6
23/07/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	197994,72	7
23/07/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	11692,6	2,64
23/07/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Lyngbya taylorii	13251,61	0,12
23/07/2005	Littorale	3m	3	Diatomées	Melosira italica subarctica	16369,64	14,35
23/07/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	11728915,7	5,9
23/07/2005	Profonde	0m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1023614,46	61,42
23/07/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	255903,61	1,07
23/07/2005	Profonde	0m	1	Chrysophytes	Bicoeoca multiannulata	170602,41	10,72
23/07/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	Lyngbya nordgaardii	298554,22	1,88
23/07/2005	Profonde	0m	1	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	42650,6	4,82
23/07/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	213253,01	7,54
23/07/2005	Profonde	0m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	127951,81	9,65
23/07/2005	Profonde	0m	1	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	85301,2	9,65
23/07/2005	Profonde	0m	1	Chlorophytes	Selenastrum minutum	42650,6	2,11
23/07/2005	Profonde	0m	1	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	85301,2	6,43
23/07/2005	Profonde	0m	1	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	60801,53	3,98
23/07/2005	Profonde	0m	1	Diatomées	Tabellaria fenestrata	3897,53	6,2
23/07/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	56124,49	6,35
23/07/2005	Profonde	0m	1	Diatomées	Melosira italica subarctica	4677,04	4,38
23/07/2005	Profonde	0m	1	Chlorophytes	Scenedesmus incrassatulus mononac	3118,03	0,59
23/07/2005	Profonde	0m	1	Diatomées	Fragilaria crotonensis	5456,55	3,34
23/07/2005	Profonde	0m	1	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	2338,52	4,41
23/07/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	14031,12	2,82
23/07/2005	Profonde	0m	1	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	4677,04	0,29
23/07/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	8615421,69	4,33
23/07/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	426506,02	1,79
23/07/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1236867,47	74,21
23/07/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	Uroglena americana	469156,63	41,27
23/07/2005	Profonde	0m	2	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	170602,41	15,01
23/07/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	42650,6	16,41
23/07/2005	Profonde	0m	2	Chlorophytes	Quadrigula closteioides	42650,6	2,28
23/07/2005	Profonde	0m	2	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	76391,66	5
23/07/2005	Profonde	0m	2	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	3118,03	8,82
23/07/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	3118,03	0,2
23/07/2005	Profonde	0m	2	Diatomées	Cyclotella comta	1559,01	5,6
23/07/2005	Profonde	0m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	27282,74	13,75
23/07/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	112248,97	3,97
23/07/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	17149,15	3,45

23/07/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	37416,32	6,72
23/07/2005	Profonde	0m	2	Diatomées	Melosira italica	6236,05	6,48
23/07/2005	Profonde	0m	2	Diatomées	Tabellaria fenestrata	3118,03	4,77
23/07/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	12515286,1	6,29
23/07/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1239533,13	74,37
23/07/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Stichogloea doederleinii	559789,16	19,78
23/07/2005	Profonde	0m	3	Chlorophytes	Quadrigula closteioides	79969,88	9,04
23/07/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	239909,64	21,1
23/07/2005	Profonde	0m	3	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	119954,82	9,04
23/07/2005	Profonde	0m	3	Chlorophytes	Selenastrum minutum	79969,88	3,96
23/07/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	119954,82	7,54
23/07/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	79969,88	9,04
23/07/2005	Profonde	0m	3	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	39984,94	3,52
23/07/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	159939,76	0,67
23/07/2005	Profonde	0m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	56124,49	3,67
23/07/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	52226,95	9,38
23/07/2005	Profonde	0m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	6236,05	4,04
23/07/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Lyngbya nordgaardii	16369,64	0,1
23/07/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	55344,98	2,35
23/07/2005	Profonde	0m	3	Diatomées	Cyclotella comta	779,51	1,67
23/07/2005	Profonde	0m	3	Diatomées	Melosira italica subarctica	2338,52	1,46
23/07/2005	Profonde	0m	3	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	1559,01	2,94
23/07/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	8574,57	1,54
23/07/2005	Profonde	0m	3	Diatomées	Tabellaria fenestrata	2338,52	3,3
23/07/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	6957379,52	3,5
23/07/2005	Profonde	3m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1479442,77	88,77
23/07/2005	Profonde	3m	1	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	279894,58	21,1
23/07/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Selenastrum minutum	119954,82	5,94
23/07/2005	Profonde	3m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	399849,4	35,17
23/07/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	1279518,07	54,27
23/07/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	319879,52	4,52
23/07/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	239909,64	8,04
23/07/2005	Profonde	3m	1	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	279894,58	18,32
23/07/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	119954,82	9,04
23/07/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Scenedesmus incrassatulus mononae	159939,76	22,11
23/07/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Aphanocapsa planctonica	1759337,35	7,37
23/07/2005	Profonde	3m	1	Chrysophytes	Mallomonas acarioides	39984,94	57
23/07/2005	Profonde	3m	1	Diatomées	Cyclotella comta	779,51	0,41
23/07/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Quadrigula closteioides	9354,08	1,59
23/07/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	229954,49	52,01
23/07/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	40534,35	4,58
23/07/2005	Profonde	3m	1	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	3118,03	3,13
23/07/2005	Profonde	3m	1	Diatomées	Tabellaria fenestrata	17149,15	41,67

23/07/2005	Profonde	3m	1	Pyridinées	<i>Ceratium hirundinella</i>	779,51	16,04
23/07/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	<i>Aphanothece clathrata brevis</i>	10278795,2	5,17
23/07/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	<i>Erkenia subaequiciliata</i>	1535421,69	92,13
23/07/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	<i>Uroglena americana</i>	213253,01	18,76
23/07/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	<i>Coelosphaerium kuntzingianum</i>	1236867,47	52,46
23/07/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>	639759,04	41,87
23/07/2005	Profonde	3m	2	Chlorophytes	<i>Kirchneriella lunaris</i>	127951,81	9,65
23/07/2005	Profonde	3m	2	Chlorophytes	<i>Selenastrum minutum</i>	127951,81	12,86
23/07/2005	Profonde	3m	2	Diatomées	<i>Rhizosolenia longiseta</i>	85301,2	5,58
23/07/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	<i>Aphanizomenon flos aquae</i>	85301,2	3,62
23/07/2005	Profonde	3m	2	Chlorophytes	<i>Quadrigula closteioides</i>	42650,6	6,33
23/07/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	<i>Merismopedia tenuissima</i>	85301,2	2,41
23/07/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	<i>Mallomonas acaroides</i>	779,51	0,89
23/07/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	<i>Oscillatoria limosa</i>	397548,44	44,96
23/07/2005	Profonde	3m	2	Chlorophytes	<i>Gloeocystis vesiculosa</i>	134854,67	36,15
23/07/2005	Profonde	3m	2	Diatomées	<i>Tabellaria fenestrata</i>	12472,11	28,72
23/07/2005	Profonde	3m	2	Cryptophytes	<i>Cryptomonas erosa</i>	4677,04	4,76
23/07/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	<i>Anabaena flos aquae</i>	207348,8	52,76
23/07/2005	Profonde	3m	2	Diatomées	<i>Fragilaria crotonensis</i>	32739,28	31,27
23/07/2005	Profonde	3m	2	Pyridinées	<i>Ceratium hirundinella</i>	779,51	30,24
23/07/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	<i>Lyngbya noorgaardii</i>	19487,67	0,12
23/07/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	<i>Aphanothece clathrata brevis</i>	9255180,72	4,65
23/07/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	<i>Bicosoeca multiannulata</i>	127951,81	8,04
23/07/2005	Profonde	3m	3	Chlorophytes	<i>Selenastrum minutum</i>	85301,2	7,5
23/07/2005	Profonde	3m	3	Diatomées	<i>Rhizosolenia longiseta</i>	85301,2	5,58
23/07/2005	Profonde	3m	3	Chlorophytes	<i>Quadrigula closteioides</i>	85301,2	10,25
23/07/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	<i>Erkenia subaequiciliata</i>	639759,04	38,39
23/07/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	<i>Uroglena americana</i>	170602,41	15,01
23/07/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	<i>Aphanocapsa planctonica</i>	1108915,66	4,65
23/07/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	<i>Merismopedia tenuissima</i>	298554,22	4,22
23/07/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>	127951,81	14,47
23/07/2005	Profonde	3m	3	Chlorophytes	<i>Gloeocystis vesiculosa</i>	213253,01	7,15
23/07/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	<i>Stichogloeia doederleinii</i>	255903,61	9,04
23/07/2005	Profonde	3m	3	Chlorophytes	<i>Kirchneriella lunaris</i>	5456,55	0,41
23/07/2005	Profonde	3m	3	Diatomées	<i>Tabellaria fenestrata</i>	6236,05	8,98
23/07/2005	Profonde	3m	3	Diatomées	<i>Synedra acus</i>	1559,01	0,32
23/07/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	<i>Anabaena flos aquae</i>	169152,97	38,26
23/07/2005	Profonde	3m	3	Diatomées	<i>Fragilaria crotonensis</i>	24164,71	27,84
23/07/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	<i>Aphanizomenon flos aquae</i>	24944,22	2,19
23/07/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	<i>Gloeotrichia echinulata</i>	59242,51	13,4
23/07/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	<i>Lyngbya noorgaardii</i>	24944,22	0,16
23/07/2005	Profonde	3m	3	Cryptophytes	<i>Cryptomonas erosa</i>	4677,04	3,53
23/07/2005	Profonde	6m	1	Cyanobactéries	<i>Aphanothece clathrata brevis</i>	6909397,59	3,47

23/07/2005	Profonde	6m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1663373,49	99,8
23/07/2005	Profonde	6m	1	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	255903,61	10,85
23/07/2005	Profonde	6m	1	Chlorophytes	Selenastrum minutum	170602,41	9,65
23/07/2005	Profonde	6m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	255903,61	22,51
23/07/2005	Profonde	6m	1	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	85301,2	6,43
23/07/2005	Profonde	6m	1	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	597108,43	20,01
23/07/2005	Profonde	6m	1	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	341204,82	1,43
23/07/2005	Profonde	6m	1	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	42650,6	98,48
23/07/2005	Profonde	6m	1	Chlorophytes	Quadrigula closteioides	42650,6	4,52
23/07/2005	Profonde	6m	1	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	255903,61	8,58
23/07/2005	Profonde	6m	1	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	127951,81	8,04
23/07/2005	Profonde	6m	1	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	7015,56	18,25
23/07/2005	Profonde	6m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	109910,45	27,97
23/07/2005	Profonde	6m	1	Diatomées	Tabellaria fenestrata	12472,11	24,62
23/07/2005	Profonde	6m	1	Diatomées	Fragilaria crotonensis	11692,6	34,1
23/07/2005	Profonde	6m	1	Chlorophytes	Coelastrum cambricum	12472,11	1,41
23/07/2005	Profonde	6m	1	Diatomées	Synedra acus	1559,01	0,22
23/07/2005	Profonde	6m	1	Pyridinées	Ceratium hirundinella	779,51	45,14
23/07/2005	Profonde	6m	2	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	6461566,27	3,25
23/07/2005	Profonde	6m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1279518,07	76,77
23/07/2005	Profonde	6m	2	Chrysophytes	Uroglena americana	191927,71	21,71
23/07/2005	Profonde	6m	2	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	1503433,73	53,14
23/07/2005	Profonde	6m	2	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	287891,57	32,56
23/07/2005	Profonde	6m	2	Chlorophytes	Selenastrum minutum	191927,71	10,85
23/07/2005	Profonde	6m	2	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	63975,9	4,82
23/07/2005	Profonde	6m	2	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	31987,95	2,81
23/07/2005	Profonde	6m	2	Cyanobactéries	Lyngbya noorgaardii	351867,47	2,21
23/07/2005	Profonde	6m	2	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	191927,71	0,8
23/07/2005	Profonde	6m	2	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	31987,95	42,56
23/07/2005	Profonde	6m	2	Chlorophytes	Quadrigula closteioides	7015,56	0,89
23/07/2005	Profonde	6m	2	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	94320,32	16,94
23/07/2005	Profonde	6m	2	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	3897,53	7,04
23/07/2005	Profonde	6m	2	Diatomées	Tabellaria fenestrata	7795,07	10,76
23/07/2005	Profonde	6m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	119264,53	26,98
23/07/2005	Profonde	6m	2	Cyanobactéries	Gloeotrichia echinulata	5037952,14	692,44
23/07/2005	Profonde	6m	2	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	114587,49	23,04
23/07/2005	Profonde	6m	2	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	9354,08	0,82
23/07/2005	Profonde	6m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	17928,66	34,06
23/07/2005	Profonde	6m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	8836671,69	4,44
23/07/2005	Profonde	6m	3	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	239909,64	15,07
23/07/2005	Profonde	6m	3	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1079593,37	64,78
23/07/2005	Profonde	6m	3	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	159939,76	0,67
23/07/2005	Profonde	6m	3	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	39984,94	40,83

23/07/2005	Profonde	6m	3	Chrysophytes	Sphaerocystis schroeteri	319879,52	36,18
23/07/2005	Profonde	6m	3	Chlorophytes	Quadrigula closteioides	79969,88	7,35
23/07/2005	Profonde	6m	3	Chrysophytes	Stichogloea doederleinii	199924,7	7,07
23/07/2005	Profonde	6m	3	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	79969,88	5,02
23/07/2005	Profonde	6m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	279894,58	31,66
23/07/2005	Profonde	6m	3	Chlorophytes	Selenastrum minutum	199924,7	11,31
23/07/2005	Profonde	6m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	159939,76	5,36
23/07/2005	Profonde	6m	3	Diatomées	Synedra acus	1559,01	0,23
23/07/2005	Profonde	6m	3	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	5456,55	9
23/07/2005	Profonde	6m	3	Diatomées	Tabellaria fenestrata	5456,55	11,23
23/07/2005	Profonde	6m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	98217,85	22,22
23/07/2005	Profonde	6m	3	Cyanobactéries	Gloeotrichia echinulata	138752,2	19,07
23/07/2005	Profonde	6m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	10913,09	14,84
23/07/2005	Profonde	6m	3	Pyridinées	Ceratium hirundinella	779,51	20,67
23/07/2005	Profonde	6m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	21826,19	1,92
23/07/2005	Profonde	6m	3	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	58463,01	11,02
23/07/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	6637500	3,34
23/07/2005	Profonde	11m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	319879,52	19,19
23/07/2005	Profonde	11m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	759713,86	66,83
23/07/2005	Profonde	11m	1	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	119954,82	4,24
23/07/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	639759,04	10,05
23/07/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	79969,88	0,33
23/07/2005	Profonde	11m	1	Chrysophytes	Sphaerocystis schroeteri	279894,58	11,87
23/07/2005	Profonde	11m	1	Chlorophytes	Selenastrum minutum	79969,88	15,7
23/07/2005	Profonde	11m	1	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	119954,82	7,54
23/07/2005	Profonde	11m	1	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	39984,94	27,7
23/07/2005	Profonde	11m	1	Chlorophytes	Quadrigula closteioides	39984,94	3,67
23/07/2005	Profonde	11m	1	Chrysophytes	Mallomonas elongata	779,51	12
23/07/2005	Profonde	11m	1	Diatomées	Fragilaria crotonensis	89643,28	109,01
23/07/2005	Profonde	11m	1	Diatomées	Synedra acus	11692,6	2,39
23/07/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	113028,48	19,17
23/07/2005	Profonde	11m	1	Diatomées	Asterionella formosa	4677,04	1,29
23/07/2005	Profonde	11m	1	Diatomées	Melosira islandica helvetica	40534,35	45,24
23/07/2005	Profonde	11m	1	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	19487,67	1,28
23/07/2005	Profonde	11m	1	Chlorophytes	Staurastrum gracile nanum	779,51	7,29
23/07/2005	Profonde	11m	1	Euglénales	Euglena gracilis	779,51	1,21
23/07/2005	Profonde	11m	1	Diatomées	Cyclotella meneghiniana	779,51	14,67
23/07/2005	Profonde	11m	1	Diatomées	Melosira italica subarctica	39754,84	33,72
23/07/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	6661020,55	3,35
23/07/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Uroglena americana	451594,61	34,05
23/07/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	677391,92	40,64
23/07/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	188164,42	2,36
23/07/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Sphaerocystis schroeteri	338695,96	11,97

23/07/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	75265,77	17,02
23/07/2005	Profonde	11m	2	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	112898,65	3,99
23/07/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	225797,31	0,95
23/07/2005	Profonde	11m	2	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	112898,65	3,78
23/07/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Synedra acus	37632,88	7,07
23/07/2005	Profonde	11m	2	Chlorophytes	Selenastrum minutum	37632,88	1,86
23/07/2005	Profonde	11m	2	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	6236,05	19,04
23/07/2005	Profonde	11m	2	Chlorophytes	Euastrum binale minor	779,51	0,73
23/07/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Melosira italica subarctica	42872,87	73,64
23/07/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	107571,93	12,17
23/07/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	59242,51	15,08
23/07/2005	Profonde	11m	2	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	6236,05	0,41
23/07/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Melosira islandica helvetica	39754,84	47,43
23/07/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Asterionella formosa	4677,04	2,48
23/07/2005	Profonde	11m	2	Pyridinées	Ceratium hirundinella	779,51	37,19
23/07/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	17928,66	1,58
23/07/2005	Profonde	11m	2	Euglénales	Euglena acus	779,51	0,77
23/07/2005	Profonde	11m	2	Chlorophytes	Staurastrum johnsonii	1559,01	17,85
23/07/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Mallomonas elongata	779,51	17,82
23/07/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Navicula radiosa tenella	779,51	0,51
23/07/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Tabellaria fenestrata	14031,12	19,36
23/07/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	366368,17	78,27
23/07/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	6237650,6	3,14
23/07/2005	Profonde	11m	3	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	79969,88	9,42
23/07/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	519804,22	18,37
23/07/2005	Profonde	11m	3	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	559789,16	33,59
23/07/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	159939,76	2,01
23/07/2005	Profonde	11m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	599774,1	52,76
23/07/2005	Profonde	11m	3	Chlorophytes	Selenastrum minutum	79969,88	8,04
23/07/2005	Profonde	11m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	159939,76	10,47
23/07/2005	Profonde	11m	3	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	39984,94	43,24
23/07/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	159939,76	0,67
23/07/2005	Profonde	11m	3	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	39984,94	1,41
23/07/2005	Profonde	11m	3	Diatomées	Melosira italica subarctica	46770,41	72,88
23/07/2005	Profonde	11m	3	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	7795,07	0,77
23/07/2005	Profonde	11m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	75612,16	21,78
23/07/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	98997,36	19,59
23/07/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	165255,43	17,52
23/07/2005	Profonde	11m	3	Pyridinées	Ceratium hirundinella	779,51	8,96
23/07/2005	Profonde	11m	3	Diatomées	Synedra acus	2338,52	0,4
23/07/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	22605,7	1,99
23/07/2005	Profonde	11m	3	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	2338,52	5,4
23/07/2005	Profonde	11m	3	Euglénales	Euglena gracilis	779,51	1,25

23/07/2005	Profonde	11m	3	Diatomées	Tabellaria fenestrata	10913,09	14,08
23/07/2005	Profonde	11m	3	Diatomées	Melosira islandica helvetica	43652,38	47,14
23/07/2005	Profonde	11m	3	Diatomées	Stephanodiscus astrea	779,51	9,95
05/08/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	14714457,8	7,4
05/08/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1101807,23	66,11
05/08/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	5011445,78	688,8
05/08/2005	Littorale	0m	1	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	142168,67	82,07
05/08/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Sphaerocystis schroeteri	142168,67	9,3
05/08/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	390963,86	29,48
05/08/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	248795,18	3,13
05/08/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	568674,7	2,38
05/08/2005	Littorale	0m	1	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	888554,22	58,16
05/08/2005	Littorale	0m	1	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	35542,17	3,77
05/08/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Mallomonas acarioides	35542,17	64,32
05/08/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	71084,34	8,04
05/08/2005	Littorale	0m	1	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	35542,17	2,68
05/08/2005	Littorale	0m	1	Diatomées	Fragilaria crotonensis	14031,12	9,85
05/08/2005	Littorale	0m	1	Diatomées	Synedra acus	2338,52	0,28
05/08/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	26503,23	2
05/08/2005	Littorale	0m	1	Diatomées	Tabellaria fenestrata	12472,11	16,84
05/08/2005	Littorale	0m	1	Chlorophytes	Coelastrum cambricum	39754,84	0,56
05/08/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	60801,53	15,47
05/08/2005	Littorale	0m	1	Diatomées	Cymbella affinis	779,51	0,67
05/08/2005	Littorale	0m	1	Chlorophytes	Staurastrum johnsonii	779,51	9,32
05/08/2005	Littorale	0m	1	Chlorophytes	Mougeotia sp.	2338,52	1,79
05/08/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	36636,82	1,23
05/08/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	15314231,9	7,7
05/08/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Uroglena americana	279894,58	49,46
05/08/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	839683,73	50,38
05/08/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	79969,88	12,56
05/08/2005	Littorale	0m	2	Chlorophytes	Selenastrum minutum	119954,82	6,78
05/08/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	599774,1	7,54
05/08/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Sphaerocystis schroeteri	559789,16	19,78
05/08/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	3518674,7	414,53
05/08/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	159939,76	0,67
05/08/2005	Littorale	0m	2	Diatomées	Cyclotella comta	39984,94	102,86
05/08/2005	Littorale	0m	2	Diatomées	Synedra acus	119954,82	17,27
05/08/2005	Littorale	0m	2	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	759713,86	25,46
05/08/2005	Littorale	0m	2	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	39984,94	6,22
05/08/2005	Littorale	0m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	11692,6	8,52
05/08/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	47549,91	12,1
05/08/2005	Littorale	0m	2	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	8574,57	17,93
05/08/2005	Littorale	0m	2	Diatomées	Tabellaria fenestrata	5456,55	10,02

05/08/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	27282,74	0,91
05/08/2005	Littorale	0m	2	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	779,51	0,14
05/08/2005	Littorale	0m	2	Diatomées	Melosira italica subarctica	14031,12	0,6
05/08/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	2338,52	6,84
05/08/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	19487,67	1,47
05/08/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	17149,15	3,88
05/08/2005	Littorale	0m	2	Diatomées	Navicula radiosa tenella	779,51	0,66
05/08/2005	Littorale	0m	2	Chlorophytes	Coelastrum cambricum	12472,11	4,76
05/08/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	11755572,3	5,91
05/08/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	1079593,37	36,18
05/08/2005	Littorale	0m	3	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	119954,82	5,94
05/08/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	479819,28	13,57
05/08/2005	Littorale	0m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	359864,46	40,7
05/08/2005	Littorale	0m	3	Chrysophytes	Chromulina minor	119954,82	10,55
05/08/2005	Littorale	0m	3	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	79969,88	87,93
05/08/2005	Littorale	0m	3	Chrysophytes	Phaester aphanester	39984,94	8,64
05/08/2005	Littorale	0m	3	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	39984,94	3,96
05/08/2005	Littorale	0m	3	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	39984,94	57
05/08/2005	Littorale	0m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	559789,16	18,76
05/08/2005	Littorale	0m	3	Chlorophytes	Monoraphidium contortum	39984,94	1,13
05/08/2005	Littorale	0m	3	Chlorophytes	Selenastrum minutum	39984,94	2,26
05/08/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	3838554,22	452,22
05/08/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	1559,01	0,18
05/08/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	49888,43	17,28
05/08/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	13251,61	1,41
05/08/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Stephanodiscus astrea	6236,05	19,04
05/08/2005	Littorale	0m	3	Chlorophytes	Mougeotia sp.	3118,03	1,9
05/08/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	21046,68	1,59
05/08/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Synedra acus	779,51	0,1
05/08/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	20267,18	0,68
05/08/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Tabellaria fenestrata	3118,03	2,88
05/08/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	9354,08	6,23
05/08/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Melosira italica subarctica	10133,59	5,96
05/08/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	15034337,3	7,56
05/08/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	439834,34	44,22
05/08/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1559412,65	93,56
05/08/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	319879,52	1,34
05/08/2005	Littorale	3m	1	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	79969,88	3,39
05/08/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	6437575,3	728,07
05/08/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Lyngbya taylorii	279894,58	3,52
05/08/2005	Littorale	3m	1	Diatomées	Cyclotella comta	39984,94	20,94
05/08/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	399849,4	26,17
05/08/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	79969,88	8,04

05/08/2005	Littorale	3m	1	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	119954,82	64,63
05/08/2005	Littorale	3m	1	Diatomées	Achantes minutissima	39984,94	4,32
05/08/2005	Littorale	3m	1	Chlorophytes	Selenastrum minutum	79969,88	3,96
05/08/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	119954,82	5,09
05/08/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	79969,88	0,33
05/08/2005	Littorale	3m	1	Chlorophytes	Gloeocystis planctonica	159939,76	83,74
05/08/2005	Littorale	3m	1	Diatomées	Synedra acus	2338,52	0,3
05/08/2005	Littorale	3m	1	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	55344,98	3,62
05/08/2005	Littorale	3m	1	Diatomées	Fragilaria crotonensis	4677,04	3,54
05/08/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	25723,72	6,55
05/08/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	10133,59	0,76
05/08/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	1559,01	1,59
05/08/2005	Littorale	3m	1	Diatomées	Tabellaria fenestrata	7795,07	3,37
05/08/2005	Littorale	3m	1	Diatomées	Gomphonema sp.	6236,05	2,62
05/08/2005	Littorale	3m	1	Pyridinées	Ceratium hirundinella	779,51	42,38
05/08/2005	Littorale	3m	1	Euglénales	Trachelomonas armata	1559,01	29,62
05/08/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	13251,61	0,44
05/08/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	12383907,1	6,22
05/08/2005	Littorale	3m	2	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	45697,07	5,17
05/08/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	822547,33	49,35
05/08/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	411273,67	14,54
05/08/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	45697,07	2,87
05/08/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	411273,67	13,78
05/08/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	365576,59	1,53
05/08/2005	Littorale	3m	2	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	274182,44	17,95
05/08/2005	Littorale	3m	2	Chlorophytes	Selenastrum minutum	45697,07	1,94
05/08/2005	Littorale	3m	2	Chlorophytes	Scenedesmus incrassatulus mononae	182788,3	6,46
05/08/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Uroglena americana	411273,67	41,35
05/08/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Achnantes minutissima	137091,22	26,32
05/08/2005	Littorale	3m	2	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	91394,15	33,59
05/08/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	6351893,29	718,38
05/08/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	91394,15	4,52
05/08/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Cyclotella comta	45697,07	41,35
05/08/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	34298,3	25,93
05/08/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Tabellaria fenestrata	19487,67	28,06
05/08/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	8574,57	0,65
05/08/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Synedra acus	3897,53	0,73
05/08/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	779,51	2,38
05/08/2005	Littorale	3m	2	Chlorophytes	Scenedesmus quadricauda longispina	3118,03	0,18
05/08/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Cyclotella comta	3118,03	1,63
05/08/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	22605,7	4,47
05/08/2005	Littorale	3m	2	Chlorophytes	Mougeotia sp.	16369,64	29,62
05/08/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Melosira italica subarctica	10913,09	22,91

05/08/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	13075075,3	6,57
05/08/2005	Littorale	3m	3	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	79969,88	3,39
05/08/2005	Littorale	3m	3	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	879668,67	52,78
05/08/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Lyngbya taylorii	479819,28	6,03
05/08/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	319879,52	10,72
05/08/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Monoraphidium contortum	79969,88	4,52
05/08/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	5917771,08	813,37
05/08/2005	Littorale	3m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	439834,34	38,69
05/08/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	599774,1	39,26
05/08/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	159939,76	0,67
05/08/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Selenastrum minutum	39984,94	1,7
05/08/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	199924,7	7,07
05/08/2005	Littorale	3m	3	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	39984,94	4,52
05/08/2005	Littorale	3m	3	Chrysophytes	Chromulina elegans	119954,82	3,39
05/08/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Scenedesmus incrassatulus mononae	159939,76	5,65
05/08/2005	Littorale	3m	3	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	1559,01	3,31
05/08/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Gloeocystis planctonica	19487,67	3,5
05/08/2005	Littorale	3m	3	Diatomées	Stephanodiscus astrea	779,51	24,21
05/08/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Scenedesmus longispina	3118,03	0,22
05/08/2005	Littorale	3m	3	Diatomées	Tabellaria fenestrata	7015,56	12,03
05/08/2005	Littorale	3m	3	Diatomées	Melosira granulata	5456,55	11,57
05/08/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	16369,64	1,23
05/08/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	27282,74	0,91
05/08/2005	Littorale	3m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	3118,03	2,27
05/08/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	14810,63	3,35
05/08/2005	Littorale	3m	3	Pyridinées	Ceratium hirundinella	779,51	32,45
05/08/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Pediastrum boryanum	12472,11	17,92
05/08/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	13343545,6	6,71
05/08/2005	Profonde	0m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	639759,04	64,32
05/08/2005	Profonde	0m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1645094,66	98,71
05/08/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	1553700,52	101,69
05/08/2005	Profonde	0m	1	Diatomées	Cyclotella comta	182788,3	95,71
05/08/2005	Profonde	0m	1	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	182788,3	16,08
05/08/2005	Profonde	0m	1	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	502667,81	7,11
05/08/2005	Profonde	0m	1	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	137091,22	31,01
05/08/2005	Profonde	0m	1	Chlorophytes	Selenastrum minutum	91394,15	12,56
05/08/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	2970309,81	99,54
05/08/2005	Profonde	0m	1	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	822547,33	29,07
05/08/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	45697,07	1,62
05/08/2005	Profonde	0m	1	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	548364,89	62,02
05/08/2005	Profonde	0m	1	Chlorophytes	Gloeocystis planctonica	32739,28	8,78
05/08/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	16369,64	1,65
05/08/2005	Profonde	0m	1	Diatomées	Tabellaria fenestrata	20267,18	11,19

05/08/2005	Profonde	0m	1	Chlorophytes	Staurastrum johnsonii	779,51	9,32
05/08/2005	Profonde	0m	1	Diatomées	Fragilaria crotonensis	14810,63	22,75
05/08/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	102894,89	26,18
05/08/2005	Profonde	0m	1	Diatomées	Melosira italica subarctica	38195,83	35,64
05/08/2005	Profonde	0m	1	Pyridinées	Ceratium hirundinella	779,51	30,24
05/08/2005	Profonde	0m	1	Diatomées	Stephanodiscus astrea	1559,01	90,28
05/08/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	10675978,9	5,37
05/08/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	159939,76	1,51
05/08/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	Uroglena americana	479819,28	27,13
05/08/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequiciliata	1159563,25	69,57
05/08/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	1879292,17	141,7
05/08/2005	Profonde	0m	2	Diatomées	Cyclotella comta	79969,88	41,87
05/08/2005	Profonde	0m	2	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	159939,76	5,36
05/08/2005	Profonde	0m	2	Chlorophytes	Selenastrum minutum	159939,76	18,09
05/08/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	239909,64	1
05/08/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	239909,64	15,07
05/08/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	Bicosseca multiannulata	199924,7	15,07
05/08/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	Lyngbya taylorii	279894,58	3,52
05/08/2005	Profonde	0m	2	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	39984,94	13,57
05/08/2005	Profonde	0m	2	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	39984,94	3,96
05/08/2005	Profonde	0m	2	Diatomées	Tabellaria fenestrata	16369,64	17,68
05/08/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	779,51	0,94
05/08/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	363250,15	17,33
05/08/2005	Profonde	0m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	11692,6	14,17
05/08/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	23385,2	1,76
05/08/2005	Profonde	0m	2	Chlorophytes	Gloeocystis planctonica	31959,78	5,74
05/08/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	71714,62	24,84
05/08/2005	Profonde	0m	2	Pyridinées	Ceratium hirundinella	779,51	17,5
05/08/2005	Profonde	0m	2	Diatomées	Melosira islandica helvetica	26503,23	24,73
05/08/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	1559,01	0,33
05/08/2005	Profonde	0m	2	Diatomées	Synedra acus	779,51	0,11
05/08/2005	Profonde	0m	2	Diatomées	Stephanodiscus astrea	779,51	20,67
05/08/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	12667228,9	6,37
05/08/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	980963,86	58,86
05/08/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Chromulina minor	127951,81	9,65
05/08/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	511807,23	25,32
05/08/2005	Profonde	0m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	298554,22	4,22
05/08/2005	Profonde	0m	3	Chlorophytes	Selenastrum minutum	85301,2	8,58
05/08/2005	Profonde	0m	3	Chlorophytes	Monoraphidium contortum	42650,6	3,48
05/08/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Bicosseca multiannulata	127951,81	5,43
05/08/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	1748674,7	197,77
05/08/2005	Profonde	0m	3	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	42650,6	15,68
05/08/2005	Profonde	0m	3	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	42650,6	3,92

05/08/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Sphaerocystis schroeteri	341204,82	21,44
05/08/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	127951,81	4,52
05/08/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Chlamydomonas dinobryonii	42650,6	1,51
05/08/2005	Profonde	0m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	11692,6	12,21
05/08/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	68596,59	23,76
05/08/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	1559,01	3,52
05/08/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	3118,03	0,51
05/08/2005	Profonde	0m	3	Pyridinées	Ceratium hirundinella	779,51	12,16
05/08/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	20267,18	1,53
05/08/2005	Profonde	0m	3	Diatomées	Melosira islandica helvetica	21046,68	18,45
05/08/2005	Profonde	0m	3	Diatomées	Tabellaria fenestrata	17928,66	16,35
05/08/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	301669,11	10,11
05/08/2005	Profonde	0m	3	Chlorophytes	Staurastrum johnsonii	779,51	6,58
05/08/2005	Profonde	0m	3	Diatomées	Melosira italica subarctica	14031,12	7,71
05/08/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	13093734,9	6,58
05/08/2005	Profonde	3m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	1322168,67	79,33
05/08/2005	Profonde	3m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	767710,84	86,83
05/08/2005	Profonde	3m	1	Chrysophytes	Sphaerocystis schroeteri	170602,41	10,72
05/08/2005	Profonde	3m	1	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	42650,6	40,7
05/08/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	1322168,67	5,54
05/08/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	1407469,88	47,16
05/08/2005	Profonde	3m	1	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	127951,81	11,26
05/08/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	1961927,71	221,89
05/08/2005	Profonde	3m	1	Diatomées	Cyclotella comta	255903,61	124,37
05/08/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	2132530,12	133,99
05/08/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Selenastrum minutum	85301,2	4,22
05/08/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	127951,81	4,02
05/08/2005	Profonde	3m	1	Diatomées	Synedra acus	42650,6	9,38
05/08/2005	Profonde	3m	1	Diatomées	Tabellaria fenestrata	23385,2	36,2
05/08/2005	Profonde	3m	1	Diatomées	Fragilaria crotonensis	14031,12	19,64
05/08/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Gloeocystis planctonica	11692,6	3,13
05/08/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	45211,39	3,41
05/08/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	279842,92	9,38
05/08/2005	Profonde	3m	1	Diatomées	Melosira italica subarctica	25723,72	30,69
05/08/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	120823,55	30,75
05/08/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Closterium jenneri	1559,01	1,41
05/08/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	125500,59	23,66
05/08/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Staurastrum johnsonii	779,51	9,06
05/08/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	11643614,5	5,85
05/08/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	170602,41	5,72
05/08/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	Chromulina elegans	42650,6	0,54
05/08/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	895662,65	53,74
05/08/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	Uroglena americana	511807,23	45,02

05/08/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	767710,84	27,13
05/08/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	Chromulina minor	85301,2	11,72
05/08/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	1578072,29	178,48
05/08/2005	Profonde	3m	2	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	85301,2	2,68
05/08/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	341204,82	14,47
05/08/2005	Profonde	3m	2	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	895662,65	30,01
05/08/2005	Profonde	3m	2	Chlorophytes	Selenastrum minutum	42650,6	3,75
05/08/2005	Profonde	3m	2	Diatomées	Synedra acus	42650,6	7,17
05/08/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	42650,6	14,47
05/08/2005	Profonde	3m	2	Diatomées	Stephanodiscus astrea	1559,01	11,28
05/08/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	104453,9	11,08
05/08/2005	Profonde	3m	2	Diatomées	Tabellaria fenestrata	16369,64	21,61
05/08/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	5456,55	0,96
05/08/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	42093,36	3,17
05/08/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	74053,14	25,65
05/08/2005	Profonde	3m	2	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	3118,03	1,15
05/08/2005	Profonde	3m	2	Diatomées	Asterionella formosa	2338,52	1,41
05/08/2005	Profonde	3m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	8574,57	5,56
05/08/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	Oscillatoria tenuis	20267,18	0,72
05/08/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	138752,2	4,65
05/08/2005	Profonde	3m	2	Chlorophytes	Ankistrodesmus falcatus	2338,52	0,24
05/08/2005	Profonde	3m	2	Diatomées	Melosira italica subarctica	17928,66	22,84
05/08/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	12667228,9	6,37
05/08/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	511807,23	25,32
05/08/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	298554,22	10,55
05/08/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	1322168,67	79,33
05/08/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	213253,01	7,15
05/08/2005	Profonde	3m	3	Chlorophytes	Selenastrum minutum	85301,2	4,22
05/08/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	255903,61	28,94
05/08/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	Chromulina elegans	85301,2	2,86
05/08/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	Sphaerocystis schroeteri	298554,22	10
05/08/2005	Profonde	3m	3	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	85301,2	11,46
05/08/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	Chromulina minor	127951,81	17,59
05/08/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	42650,6	18,06
05/08/2005	Profonde	3m	3	Diatomées	Cyclotella comta	213253,01	245,67
05/08/2005	Profonde	3m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	1322168,67	44,31
05/08/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	1663373,49	195,96
05/08/2005	Profonde	3m	3	Diatomées	Synedra acus	42650,6	5,8
05/08/2005	Profonde	3m	3	Chlorophytes	Ankistrodesmus falcatus	779,51	0,13
05/08/2005	Profonde	3m	3	Diatomées	Tabellaria fenestrata	24164,71	41,76
05/08/2005	Profonde	3m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	10913,09	8,25
05/08/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	Mallomonas elongata	779,51	1,19
05/08/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	95099,82	21,51

05/08/2005	Profonde	3m	3	Diatomées	Melosira italica subarctica	27282,74	39,77
05/08/2005	Profonde	3m	3	Diatomées	Asterionella formosa	4677,04	2,95
05/08/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	39754,84	3
05/08/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	214364,36	7,18
05/08/2005	Profonde	3m	3	Diatomées	Stephanodiscus astrea	779,51	13,37
05/08/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	3897,53	0,36
05/08/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	Oscillatoria tenuis	28841,75	1,02
05/08/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	142649,74	15,12
05/08/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	9980240,96	5,02
05/08/2005	Profonde	7m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	426506,02	48,24
05/08/2005	Profonde	7m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	1535421,69	92,13
05/08/2005	Profonde	7m	1	Chlorophytes	Selenastrum minutum	85301,2	4,22
05/08/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	1748674,7	197,77
05/08/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	298554,22	1,25
05/08/2005	Profonde	7m	1	Diatomées	Synedra acus	42650,6	14,59
05/08/2005	Profonde	7m	1	Diatomées	Cyclotella comta	213253,01	82,07
05/08/2005	Profonde	7m	1	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	938313,25	61,41
05/08/2005	Profonde	7m	1	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	42650,6	1,43
05/08/2005	Profonde	7m	1	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	42650,6	1,51
05/08/2005	Profonde	7m	1	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	42650,6	1,61
05/08/2005	Profonde	7m	1	Chlorophytes	Oocystis parva	42650,6	29,85
05/08/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	383855,42	10,85
05/08/2005	Profonde	7m	1	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	42650,6	35,27
05/08/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	27282,74	2,74
05/08/2005	Profonde	7m	1	Chlorophytes	Closterium jenneri	779,51	0,3
05/08/2005	Profonde	7m	1	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	5456,55	1,61
05/08/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	2350992,37	265,89
05/08/2005	Profonde	7m	1	Chlorophytes	Coelastrum cambricum	7795,07	2,98
05/08/2005	Profonde	7m	1	Diatomées	Fragilaria crotonensis	1559,01	1,78
05/08/2005	Profonde	7m	1	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	1559,01	0,17
05/08/2005	Profonde	7m	1	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	1559,01	6,24
05/08/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	166814,45	5,59
05/08/2005	Profonde	7m	1	Chrysophytes	Synura uvella	779,51	0,99
05/08/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	31959,78	12,2
05/08/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	10076204,8	5,06
05/08/2005	Profonde	7m	2	Chrysophytes	Bicooseca multiannulata	319879,52	13,57
05/08/2005	Profonde	7m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	879668,67	52,78
05/08/2005	Profonde	7m	2	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	199924,7	16,96
05/08/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	399849,4	5,65
05/08/2005	Profonde	7m	2	Chrysophytes	Chromulina minor	239909,64	47,48
05/08/2005	Profonde	7m	2	Diatomées	Cyclotella comta	279894,58	139,95
05/08/2005	Profonde	7m	2	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	479819,28	31,4
05/08/2005	Profonde	7m	2	Diatomées	Synedra acus	39984,94	9

05/08/2005	Profonde	7m	2	Chrysophytes	Phaester aphanaster	39984,94	12,31
05/08/2005	Profonde	7m	2	Chrysophytes	Uroglena americana	359864,46	45,22
05/08/2005	Profonde	7m	2	Chrysophytes	Chromulina elegans	39984,94	0,5
05/08/2005	Profonde	7m	2	Chlorophytes	Selenastrum minutum	79969,88	5,65
05/08/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	1559412,65	176,37
05/08/2005	Profonde	7m	2	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	39984,94	24,12
05/08/2005	Profonde	7m	2	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	39984,94	43,24
05/08/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	79969,88	2,83
05/08/2005	Profonde	7m	2	Diatomées	Tabellaria fenestrata	4677,04	5,05
05/08/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	181625,07	19,26
05/08/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	41313,86	10,51
05/08/2005	Profonde	7m	2	Chlorophytes	Ankistrodesmus falcatus	1559,01	0,27
05/08/2005	Profonde	7m	2	Diatomées	Asterionella formosa	1559,01	0,79
05/08/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	145767,76	4,88
05/08/2005	Profonde	7m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	3118,03	2,19
05/08/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	17149,15	1,29
05/08/2005	Profonde	7m	2	Diatomées	Stephanodiscus astrea	779,51	1,67
05/08/2005	Profonde	7m	2	Chlorophytes	Coelastrum cambricum	12472,11	0,82
05/08/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	Gloeotrichia echinulata	4677,04	0,35
05/08/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	9636370,48	4,84
05/08/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	Chromulina elegans	79969,88	1
05/08/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	279894,58	35,17
05/08/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	279894,58	7,91
05/08/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	479819,28	6,78
05/08/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	39984,94	22,11
05/08/2005	Profonde	7m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	319879,52	20,94
05/08/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	1399472,89	158,28
05/08/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	Phaester aphanaster	39984,94	13,85
05/08/2005	Profonde	7m	3	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	79969,88	3,01
05/08/2005	Profonde	7m	3	Diatomées	Synedra acus	39984,94	9,72
05/08/2005	Profonde	7m	3	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	39984,94	1,34
05/08/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	Chromulina elegans	39984,94	0,5
05/08/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	679743,98	27,19
05/08/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	Bicosocca multiannulata	239909,64	8,48
05/08/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	Chromulina minor	119954,82	23,74
05/08/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	159939,76	0,67
05/08/2005	Profonde	7m	3	Chlorophytes	Selenastrum minutum	39984,94	2,26
05/08/2005	Profonde	7m	3	Diatomées	Stephanodiscus astrea	779,51	1,38
05/08/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Gloeotrichia echinulata	6236,05	0,47
05/08/2005	Profonde	7m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	2338,52	1,7
05/08/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	21046,68	1,59
05/08/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	2338,52	0,35
05/08/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	35857,31	12,42

05/08/2005	Profonde	7m	3	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	779,51	0,94
05/08/2005	Profonde	7m	3	Chlorophytes	Coelastrum cambricum	9354,08	1,06
05/08/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	130957,13	4,39
05/08/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	291535,53	30,91
05/08/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	6477560,24	3,26
05/08/2005	Profonde	11m	1	Chlorophytes	Scenedesmus quadricauda longispina	159939,76	9,04
05/08/2005	Profonde	11m	1	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	519804,22	17,42
05/08/2005	Profonde	11m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	439834,34	26,39
05/08/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	439834,34	12,44
05/08/2005	Profonde	11m	1	Diatomées	Synedra acus	39984,94	6,4
05/08/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	719728,92	98,92
05/08/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Merismopedia minima	279894,58	0,15
05/08/2005	Profonde	11m	1	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	39984,94	14,7
05/08/2005	Profonde	11m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	39984,94	1,98
05/08/2005	Profonde	11m	1	Diatomées	Cyclotella comta	39984,94	36,18
05/08/2005	Profonde	11m	1	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	39984,94	5,5
05/08/2005	Profonde	11m	1	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	2338,52	22,02
05/08/2005	Profonde	11m	1	Diatomées	Tabellaria fenestrata	1559,01	2,39
05/08/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	9354,08	0,82
05/08/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	33518,79	1,12
05/08/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	16369,64	2,25
05/08/2005	Profonde	11m	1	Diatomées	Melosira islandica subarctica	42093,36	89,26
05/08/2005	Profonde	11m	1	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	779,51	0,12
05/08/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	7122650,6	3,58
05/08/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	682409,64	9,65
05/08/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Synedra acus	42650,6	6,82
05/08/2005	Profonde	11m	2	Chlorophytes	Crucigenia quadrata	170602,41	1,61
05/08/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	341204,82	9,65
05/08/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	42650,6	3,22
05/08/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Rhizosolenia longiseta	42650,6	1,43
05/08/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Phaester aphanester	42650,6	8,44
05/08/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	298554,22	17,91
05/08/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Chromulina minor	85301,2	8,58
05/08/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	853012,05	55,83
05/08/2005	Profonde	11m	2	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	42650,6	2,68
05/08/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Uroglena americana	42650,6	2,11
05/08/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Chromulina elegans	42650,6	0,54
05/08/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	7795,07	10,41
05/08/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	13251,61	1
05/08/2005	Profonde	11m	2	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	779,51	0,13
05/08/2005	Profonde	11m	2	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	10913,09	0,37
05/08/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Melosira helvetica subarctica	9354,08	19,84
05/08/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Cyclotella comta	1559,01	2,76

05/08/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	2338,52	1,94
05/08/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	17149,15	0,57
05/08/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Tabellaria fenestrata	3118,03	1,91
05/08/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Asterionella formosa	779,51	0,51
05/08/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Mallomonas elongata	779,51	3,97
05/08/2005	Profonde	11m	2	Chlorophytes	Crucigenia tetrapedia	3118,03	0,2
05/08/2005	Profonde	11m	2	Euglénales	Euglena gracilis	779,51	1,53
05/08/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	18708,16	4,76
05/08/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	6482891,57	3,26
05/08/2005	Profonde	11m	3	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	213253,01	12,8
05/08/2005	Profonde	11m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	42650,6	2,11
05/08/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	383855,42	10,85
05/08/2005	Profonde	11m	3	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	42650,6	3,22
05/08/2005	Profonde	11m	3	Chrysophytes	Chromulina minor	42650,6	4,29
05/08/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	895662,65	101,3
05/08/2005	Profonde	11m	3	Chlorophytes	Kirchneriella lunaris	42650,6	5,02
05/08/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Merismopedia minima	85301,2	0,04
05/08/2005	Profonde	11m	3	Chrysophytes	Phaester aphanester	42650,6	8,44
05/08/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	511807,23	7,24
05/08/2005	Profonde	11m	3	Chrysophytes	Chromulina elegans	42650,6	0,54
05/08/2005	Profonde	11m	3	Diatomées	Tabellaria fenestrata	779,51	0,43
05/08/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	28841,75	0,65
05/08/2005	Profonde	11m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	6236,05	0,21
05/08/2005	Profonde	11m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	779,51	0,55
05/08/2005	Profonde	11m	3	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	1559,01	4,76
05/08/2005	Profonde	11m	3	Diatomées	Melosira helvetica subarctica	19487,67	30,99
05/08/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	14810,63	6,7
05/08/2005	Profonde	11m	3	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	779,51	0,12
05/08/2005	Profonde	11m	3	Diatomées	Asterionella formosa	779,51	0,22
05/08/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	10913,09	0,82
09/09/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	10364096,4	5,21
09/09/2005	Littorale	0m	1	Chlorophytes	Monoraphidium contortum	127951,81	9,65
09/09/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	511807,23	14,47
09/09/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	1023614,46	61,42
09/09/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	170602,41	8,44
09/09/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	255903,61	50,25
09/09/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	682409,64	33,77
09/09/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Synura ulvella	42650,6	6,43
09/09/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	4862168,67	366,6
09/09/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Chromulina elegans	298554,22	12,66
09/09/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	725060,24	328,01
09/09/2005	Littorale	0m	1	Cryptophytes	Cryptomonas crosa	42650,6	106,12
09/09/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	1023614,46	67

09/09/2005	Littorale	0m	1	Diatomées	Fragilaria crotonensis	98997,36	85,53
09/09/2005	Littorale	0m	1	Diatomées	Melosira islandica helvetica	1559,01	5,18
09/09/2005	Littorale	0m	1	Diatomées	Stephanodiscus astrea	4677,04	168,78
09/09/2005	Littorale	0m	1	Chlorophytes	Gloeocystis aeruginosa	5456,55	0,18
09/09/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	94320,32	3,16
09/09/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	221379,92	23,47
09/09/2005	Littorale	0m	1	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	779,51	1,55
09/09/2005	Littorale	0m	1	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	37416,32	1,25
09/09/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	12383907,1	6,22
09/09/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	868244,41	52,09
09/09/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	2741824,44	77,52
09/09/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	411273,67	13,78
09/09/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	274182,44	13,57
09/09/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Uroglena americana	639759,04	80,39
09/09/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	4432616,18	445,62
09/09/2005	Littorale	0m	2	Chlorophytes	Monoraphidium contortum	45697,07	1,45
09/09/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	913941,48	413,46
09/09/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	228485,37	3,23
09/09/2005	Littorale	0m	2	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	91394,15	104,66
09/09/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	1325215,15	86,74
09/09/2005	Littorale	0m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	201892,25	147,18
09/09/2005	Littorale	0m	2	Diatomées	Asterionella formosa	8574,57	5,09
09/09/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	69376,1	2,32
09/09/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	540977,69	45,89
09/09/2005	Littorale	0m	2	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	13251,61	0,44
09/09/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	1559,01	1,71
09/09/2005	Littorale	0m	2	Diatomées	Melosira italica subarctica	5456,55	6,25
09/09/2005	Littorale	0m	2	Diatomées	Melosira islandica helvetica	4677,04	13,22
09/09/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	7015,56	1,15
09/09/2005	Littorale	0m	2	Chrysophytes	Oocystis parva	3118,03	6,7
09/09/2005	Littorale	0m	2	Cyanobactéries	Oscillatoria tenuis	10133,59	0,5
09/09/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	10725372,1	5,39
09/09/2005	Littorale	0m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	903189,23	79,45
09/09/2005	Littorale	0m	3	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	1279518,07	76,77
09/09/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	1354783,84	47,88
09/09/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	5983628,63	451,15
09/09/2005	Littorale	0m	3	Chlorophytes	Monoraphidium contortum	112898,65	11
09/09/2005	Littorale	0m	3	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	489227,5	16,39
09/09/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Cyclotella comta	37632,88	43,29
09/09/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	75265,77	0,32
09/09/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	790290,57	357,52
09/09/2005	Littorale	0m	3	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	150531,54	11,35
09/09/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	790290,57	89,38

09/09/2005	Littorale	0m	3	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	37632,88	17,38
09/09/2005	Littorale	0m	3	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	37632,88	50,07
09/09/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	225797,31	7,57
09/09/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Asterionella formosa	779,51	0,48
09/09/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	169932,47	120,82
09/09/2005	Littorale	0m	3	Pyridinées	Ceratium hirundinella	779,51	54,14
09/09/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	72494,13	2,43
09/09/2005	Littorale	0m	3	Diatomées	Melosira islandica helvetica	6236,05	13,09
09/09/2005	Littorale	0m	3	Chlorophytes	Staurostrum johnsonii	1559,01	42,85
09/09/2005	Littorale	0m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	28062,24	3,17
09/09/2005	Littorale	0m	3	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	49108,93	10,49
09/09/2005	Littorale	0m	3	Chlorophytes	Scenedesmus incrassatulus mononae	3118,03	0,22
09/09/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	12475301,2	6,27
09/09/2005	Littorale	3m	1	Chlorophytes	Monoraphidium contortum	79969,88	4,52
09/09/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	639759,04	96,47
09/09/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Chromulina elegans	79969,88	1,13
09/09/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	439834,34	14,74
09/09/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	519804,22	14,7
09/09/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	1039608,43	360,08
09/09/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	519804,22	71,85
09/09/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	39984,94	81,4
09/09/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	6317620,48	476,34
09/09/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	639759,04	38,39
09/09/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	839683,73	94,97
09/09/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	79969,88	4,52
09/09/2005	Littorale	3m	1	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	119954,82	16,58
09/09/2005	Littorale	3m	1	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	239909,64	8,04
09/09/2005	Littorale	3m	1	Diatomées	Fragilaria crotonensis	200333,24	129,82
09/09/2005	Littorale	3m	1	Pyridinées	Ceratium hirundinella	779,51	20,67
09/09/2005	Littorale	3m	1	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	3118,03	8,3
09/09/2005	Littorale	3m	1	Diatomées	Stephanodiscus astrea	1559,01	41,35
09/09/2005	Littorale	3m	1	Diatomées	Melosira helvetica subarctica	20267,18	11,14
09/09/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	49108,93	5,21
09/09/2005	Littorale	3m	1	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	215143,86	7,21
09/09/2005	Littorale	3m	1	Diatomées	Asterionella formosa	1559,01	0,37
09/09/2005	Littorale	3m	1	Diatomées	Synedra acus	1559,01	0,41
09/09/2005	Littorale	3m	1	Chlorophytes	Coelastrum cambricum	9354,08	1,06
09/09/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	12305953,2	6,19
09/09/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Uroglena americana	1016087,88	140,45
09/09/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	451594,61	15,96
09/09/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	75265,77	2,13
09/09/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	1430049,61	85,8
09/09/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	7639475,55	576

09/09/2005	Littorale	3m	2	Chlorophytes	Monoraphidium contortum	150531,54	9,93
09/09/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	865556,34	391,57
09/09/2005	Littorale	3m	2	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	75265,77	90,98
09/09/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	1091353,65	128,57
09/09/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	37632,88	99,9
09/09/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Melosira helvetica subarctica	37632,88	31,92
09/09/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	225797,31	6,38
09/09/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Synedra acus	779,51	0,18
09/09/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	117705,52	91,1
09/09/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	279063,42	9,35
09/09/2005	Littorale	3m	2	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	24944,22	0,84
09/09/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Asterionella formosa	3118,03	0,85
09/09/2005	Littorale	3m	2	Chlorophytes	Chlamydomonas epiphytica	11692,6	3,13
09/09/2005	Littorale	3m	2	Chlorophytes	Xanthidium sp.	779,51	69,12
09/09/2005	Littorale	3m	2	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	10913,09	2,57
09/09/2005	Littorale	3m	2	Diatomées	Stephanodiscus astrea	779,51	8,03
09/09/2005	Littorale	3m	2	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	56903,99	4,83
09/09/2005	Littorale	3m	2	Chlorophytes	Cosmarium sp.	779,51	13,39
09/09/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	11835542,2	5,95
09/09/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Woronichiana naegelianiana	999623,49	42,4
09/09/2005	Littorale	3m	3	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	559789,16	18,76
09/09/2005	Littorale	3m	3	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	319879,52	19,19
09/09/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	399849,4	13,4
09/09/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	4038478,92	304,49
09/09/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Monoraphidium contortum	39984,94	2,76
09/09/2005	Littorale	3m	3	Chrysophytes	Uroglana americana	239909,64	36,18
09/09/2005	Littorale	3m	3	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	39984,94	64,6
09/09/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	839683,73	320,51
09/09/2005	Littorale	3m	3	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	119954,82	13,57
09/09/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	959638,55	108,53
09/09/2005	Littorale	3m	3	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	239909,64	42,21
09/09/2005	Littorale	3m	3	Chrysophytes	Chromulina elegans	79969,88	1,13
09/09/2005	Littorale	3m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	328172,34	224,47
09/09/2005	Littorale	3m	3	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	264252,79	8,86
09/09/2005	Littorale	3m	3	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	1559,01	4,14
09/09/2005	Littorale	3m	3	Diatomées	Stephanodiscus astrea	1559,01	48,42
09/09/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Coelastrum cambricum	12472,11	0,82
09/09/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Oocystis parva	3118,03	0,35
09/09/2005	Littorale	3m	3	Pyridinées	Ceratium hirundinella	1559,01	245,51
09/09/2005	Littorale	3m	3	Cryptophytes	Cryptomonas rostrata	2338,52	8,38
09/09/2005	Littorale	3m	3	Chlorophytes	Chlorella vulgaris	6236,05	0,41
09/09/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	10715963,9	5,39
09/09/2005	Profonde	0m	1	Chrysophytes	Uroglana americana	519804,22	65,32

09/09/2005	Profonde	0m	1	Chrysophytes	<i>Erkenia subaequicilata</i>	919653,61	55,18
09/09/2005	Profonde	0m	1	Chlorophytes	<i>Monoraphidium contortum</i>	79969,88	15,26
09/09/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	<i>Aphanizomenon flos aquae</i>	1959262,05	172,35
09/09/2005	Profonde	0m	1	Chlorophytes	<i>Gloeocystis vesiculosa</i>	119954,82	2,69
09/09/2005	Profonde	0m	1	Cryptophytes	<i>Cryptomonas erosa</i>	79969,88	91,57
09/09/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	<i>Anabaena planctonica</i>	839683,73	379,86
09/09/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	<i>Anabaena flos aquae</i>	759713,86	89,5
09/09/2005	Profonde	0m	1	Chrysophytes	<i>Bicosoeca multiannulata</i>	119954,82	4,24
09/09/2005	Profonde	0m	1	Chlorophytes	<i>Oocystis parva</i>	79969,88	55,4
09/09/2005	Profonde	0m	1	Chlorophytes	<i>Chlamydomonas dinobryonii</i>	39984,94	1,41
09/09/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	<i>Merismopedia tenuissima</i>	79969,88	0,33
09/09/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	<i>Woronichiana naegeliana</i>	159939,76	4,52
09/09/2005	Profonde	0m	1	Cyanobactéries	<i>Microcystis aeruginosa</i>	369486,2	12,38
09/09/2005	Profonde	0m	1	Pyridinées	<i>Ceratium hirundinella</i>	779,51	45,14
09/09/2005	Profonde	0m	1	Diatomées	<i>Fragilaria crotonensis</i>	157460,36	123,29
09/09/2005	Profonde	0m	1	Diatomées	<i>Cyclotella comta</i>	2338,52	3,36
09/09/2005	Profonde	0m	1	Diatomées	<i>Tabellaria fenestrata</i>	779,51	0,8
09/09/2005	Profonde	0m	1	Diatomées	<i>Asterionella formosa</i>	779,51	0,21
09/09/2005	Profonde	0m	1	Diatomées	<i>Melosira italica subarctica</i>	3897,53	4,46
09/09/2005	Profonde	0m	1	Chlorophytes	<i>Gloeocystis planctonica</i>	779,51	0,21
09/09/2005	Profonde	0m	1	Chlorophytes	<i>Staurostrum</i> sp.	779,51	18,37
09/09/2005	Profonde	0m	1	Chrysophytes	<i>Mallomonas acaroides</i>	779,51	0,86
09/09/2005	Profonde	0m	1	Chrysophytes	<i>Dinobryon bavaricum</i>	9354,08	1,53
09/09/2005	Profonde	0m	1	Diatomées	<i>Melosira islandica helvetica</i>	1559,01	4,41
09/09/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	<i>Aphanothece clathrata brevis</i>	7797063,25	3,92
09/09/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	<i>Woronichiana naegeliana</i>	639759,04	27,13
09/09/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	<i>Uroglena americana</i>	199924,7	27,64
09/09/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	<i>Coelosphaerium kuntzingianum</i>	1039608,43	14,7
09/09/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	<i>Erkenia subaequicilata</i>	639759,04	38,39
09/09/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	<i>Aphanizomenon flos aquae</i>	1639382,53	123,61
09/09/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	<i>Chromulina minor</i>	119954,82	13,57
09/09/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	<i>Mallomonas acaroides</i>	39984,94	129,26
09/09/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	<i>Anabaena flos aquae</i>	519804,22	58,79
09/09/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	<i>Anabaena planctonica</i>	1039608,43	396,82
09/09/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	<i>Bicosoeca multiannulata</i>	79969,88	2,83
09/09/2005	Profonde	0m	2	Diatomées	<i>Fragilaria crotonensis</i>	3838554,22	81,4
09/09/2005	Profonde	0m	2	Cryptophytes	<i>Cryptomonas erosa</i>	79969,88	111,92
09/09/2005	Profonde	0m	2	Chlorophytes	<i>Monoraphidium contortum</i>	39984,94	1,34
09/09/2005	Profonde	0m	2	Chlorophytes	<i>Closterium jennarii</i>	779,51	1,18
09/09/2005	Profonde	0m	2	Chlorophytes	<i>Staurostrum johnsonii</i>	1559,01	14,58
09/09/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	<i>Microcystis aeruginosa</i>	270488,84	9,06
09/09/2005	Profonde	0m	2	Pyridinées	<i>Ceratium hirundinella</i>	1559,01	358,34
09/09/2005	Profonde	0m	2	Diatomées	<i>Stephanodiscus astrea</i>	779,51	20,67

09/09/2005	Profonde	0m	2	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	21826,19	7,71
09/09/2005	Profonde	0m	2	Chlorophytes	Gloeocystis planctonica	12472,11	8,69
09/09/2005	Profonde	0m	2	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	26503,23	2,62
09/09/2005	Profonde	0m	2	Diatomées	Melosira islandica helvetica	2338,52	1,79
09/09/2005	Profonde	0m	2	Chlorophytes	Scenedesmus incrassatulus mononae	3118,03	0,22
09/09/2005	Profonde	0m	2	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	11692,6	0,17
09/09/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	9852289,16	4,95
09/09/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	895662,65	53,74
09/09/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	469156,63	19,9
09/09/2005	Profonde	0m	3	Chlorophytes	Monoraphidium contortum	42650,6	2,41
09/09/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	554457,83	7,84
09/09/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	1961927,71	147,93
09/09/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	383855,42	53,06
09/09/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Chromulina minor	213253,01	26,8
09/09/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	639759,04	72,36
09/09/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	85301,2	3,01
09/09/2005	Profonde	0m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	127951,81	4,29
09/09/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	1151566,27	439,56
09/09/2005	Profonde	0m	3	Chlorophytes	Chlamydomonas dinobryonii	42650,6	1,51
09/09/2005	Profonde	0m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	183963,59	150,67
09/09/2005	Profonde	0m	3	Diatomées	Stephanodiscus astrea	1559,01	32,08
09/09/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	254119,2	8,52
09/09/2005	Profonde	0m	3	Pyridinées	Ceratium hirundinella	779,51	60,76
09/09/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	10913,09	2,06
09/09/2005	Profonde	0m	3	Diatomées	Tabellaria fenestrata	779,51	0,73
09/09/2005	Profonde	0m	3	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	16369,64	1,74
09/09/2005	Profonde	0m	3	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	779,51	0,55
09/09/2005	Profonde	0m	3	Diatomées	Melosira islandica helvetica	3118,03	3,6
09/09/2005	Profonde	0m	3	Chlorophytes	Staurostrum sp.	779,51	10,37
09/09/2005	Profonde	0m	3	Diatomées	Asterionella formosa	779,51	0,17
09/09/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	9340481,93	4,7
09/09/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	1492771,08	63,31
09/09/2005	Profonde	3m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	255903,61	60,3
09/09/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	3156144,58	237,97
09/09/2005	Profonde	3m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	639759,04	38,39
09/09/2005	Profonde	3m	1	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	1066265,06	30,15
09/09/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	1322168,67	457,95
09/09/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Ankistrodesmus falcatus	42650,6	2,81
09/09/2005	Profonde	3m	1	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	255903,61	12,66
09/09/2005	Profonde	3m	1	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	42650,6	25,73
09/09/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	895662,65	123,1
09/09/2005	Profonde	3m	1	Chrysophytes	Cryptomonas erosa	42650,6	68,9
09/09/2005	Profonde	3m	1	Diatomées	Fragilaria crotonensis	298551,09	353,48

09/09/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Oocystis parva	9354,08	1,68
09/09/2005	Profonde	3m	1	Diatomées	Cyclotella comta	1559,01	19,91
09/09/2005	Profonde	3m	1	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	307125,66	10,29
09/09/2005	Profonde	3m	1	Pyridinées	Ceratium hirundinella	2338,52	874,22
09/09/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Staurostrum sp.	1559,01	6,06
09/09/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Gloeocystis planctonica	3118,03	2,17
09/09/2005	Profonde	3m	1	Diatomées	Synedra acus	1559,01	0,41
09/09/2005	Profonde	3m	1	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	14031,12	3,58
09/09/2005	Profonde	3m	1	Chlorophytes	Chlamydomonas dinobryonii	9354,08	1,68
09/09/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	12075451,8	6,07
09/09/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	Uroglena americana	319879,52	81,65
09/09/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	1639382,53	69,53
09/09/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	959638,55	57,58
09/09/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	559789,16	18,76
09/09/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	39984,94	2,54
09/09/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	2838930,72	214,05
09/09/2005	Profonde	3m	2	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	79969,88	72,36
09/09/2005	Profonde	3m	2	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	39984,94	2,54
09/09/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	599774,1	381,56
09/09/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	719728,92	81,4
09/09/2005	Profonde	3m	2	Chlorophytes	Monoraphidium comortum	39984,94	7,63
09/09/2005	Profonde	3m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	213584,85	186,46
09/09/2005	Profonde	3m	2	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	445877,86	14,94
09/09/2005	Profonde	3m	2	Pyridinées	Ceratium hirundinella	3118,03	257,07
09/09/2005	Profonde	3m	2	Diatomées	Stephanodiscus astrea	779,51	54,14
09/09/2005	Profonde	3m	2	Chlorophytes	Chlamydomonas dinobryonii	18708,16	3,36
09/09/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	3118,03	3,85
09/09/2005	Profonde	3m	2	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	21046,68	11,31
09/09/2005	Profonde	3m	2	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	20267,18	0,68
09/09/2005	Profonde	3m	2	Chlorophytes	Gloeocystis planctonica	16369,64	2,94
09/09/2005	Profonde	3m	2	Diatomées	Melosira italica subarctica	7015,56	11,6
09/09/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	10316114,5	5,19
09/09/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	879668,67	43,53
09/09/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	959638,55	57,58
09/09/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	1119578,31	39,57
09/09/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	5078087,35	382,88
09/09/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	359864,46	77,73
09/09/2005	Profonde	3m	3	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	79969,88	46,16
09/09/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	119954,82	10,55
09/09/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	79969,88	258,52
09/09/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	879668,67	397,95
09/09/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	639759,04	114,9
09/09/2005	Profonde	3m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	319879,52	20,94

09/09/2005	Profonde	3m	3	Diatomées	<i>Synedra acus</i>	39984,94	7,36
09/09/2005	Profonde	3m	3	Diatomées	<i>Fragilaria crotonensis</i>	156680,86	109,99
09/09/2005	Profonde	3m	3	Chrysophytes	<i>Dinobryon bavaricum</i>	35857,31	14,19
09/09/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	<i>Microcystis aeruginosa</i>	370265,71	12,41
09/09/2005	Profonde	3m	3	Chlorophytes	<i>Staurastrum johnsonii</i>	1559,01	12,42
09/09/2005	Profonde	3m	3	Diatomées	<i>Melosira italica subarctica</i>	4677,04	22,32
09/09/2005	Profonde	3m	3	Diatomées	<i>Asterionella formosa</i>	779,51	0,5
09/09/2005	Profonde	3m	3	Pyridinées	<i>Ceratium hirundinella</i>	779,51	12,16
09/09/2005	Profonde	3m	3	Chlorophytes	<i>Xanthidium cristatum</i>	779,51	67,71
09/09/2005	Profonde	3m	3	Chlorophytes	<i>Coelastrum</i> sp.	10913,09	9,87
09/09/2005	Profonde	3m	3	Chlorophytes	<i>Pediatrum</i> sp.	4677,04	6,67
09/09/2005	Profonde	3m	3	Cyanobactéries	<i>Oscillatoria limosa</i>	68596,59	7,27
09/09/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	<i>Aphanothece clathrata brevis</i>	10022891,6	5,04
09/09/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	<i>Woronichiana naegeliana</i>	1407469,88	49,74
09/09/2005	Profonde	7m	1	Chrysophytes	<i>Uroglena americana</i>	298554,22	33,77
09/09/2005	Profonde	7m	1	Chrysophytes	<i>Erkenia subaequicilata</i>	1066265,06	63,98
09/09/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	<i>Aphanizomenon flos aquae</i>	4179759,04	315,15
09/09/2005	Profonde	7m	1	Chrysophytes	<i>Bicosoeca multiannulata</i>	298554,22	30,01
09/09/2005	Profonde	7m	1	Cryptophytes	<i>Cryptomonas erosa</i>	127951,81	221,08
09/09/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	<i>Coelosphaerium kuntzingianum</i>	2047228,92	28,94
09/09/2005	Profonde	7m	1	Chlorophytes	<i>Gloeocystis vesiculosa</i>	255903,61	28,94
09/09/2005	Profonde	7m	1	Chrysophytes	<i>Chromulina minor</i>	170602,41	15,01
09/09/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	<i>Anabaena flos aquae</i>	1236867,47	139,89
09/09/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	<i>Anabaena planctonica</i>	469156,63	179,08
09/09/2005	Profonde	7m	1	Chrysophytes	<i>Chromulina elegans</i>	42650,6	0,54
09/09/2005	Profonde	7m	1	Pyridinées	<i>Ceratium hirundinella</i>	4677,04	364,58
09/09/2005	Profonde	7m	1	Chrysophytes	<i>Dinobryon bavaricum</i>	21046,68	3,97
09/09/2005	Profonde	7m	1	Diatomées	<i>Fragilaria crotonensis</i>	173830,01	134,54
09/09/2005	Profonde	7m	1	Diatomées	<i>Stephanodiscus astrea</i>	3897,53	151,19
09/09/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	<i>Microcystis aeruginosa</i>	251780,68	8,44
09/09/2005	Profonde	7m	1	Chrysophytes	<i>Mallomonas acaroides</i>	3118,03	4,44
09/09/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	<i>Chroococcus limneticus</i>	6236,05	1,67
09/09/2005	Profonde	7m	1	Chlorophytes	<i>Scenedesmus quadricauda longispina</i>	3118,03	0,2
09/09/2005	Profonde	7m	1	Chlorophytes	<i>Characium falcatum</i>	779,51	0,21
09/09/2005	Profonde	7m	1	Chlorophytes	<i>Staurastrum johnsonii</i>	779,51	8,33
09/09/2005	Profonde	7m	1	Chlorophytes	<i>Gloeocystis planctonica</i>	10913,09	9,87
09/09/2005	Profonde	7m	1	Diatomées	<i>Melosira granulata</i>	3897,53	6,69
09/09/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	<i>Oscillatoria limosa</i>	145767,76	14,43
09/09/2005	Profonde	7m	1	Cyanobactéries	<i>Oscillatoria tenuis</i>	65478,57	2,78
09/09/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	<i>Aphanothece clathrata brevis</i>	11395707,8	5,73
09/09/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	<i>Woronichiana naegeliana</i>	2758960,84	117,01
09/09/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	<i>Aphanizomenon flos aquae</i>	4438328,31	390,42
09/09/2005	Profonde	7m	2	Chrysophytes	<i>Uroglena americana</i>	239909,64	27,13

09/09/2005	Profonde	7m	2	Chrysophytes	Sphaerocystis schroeteri	1639382,53	46,35
09/09/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	Merismopedia tenuissima	119954,82	1,7
09/09/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	839683,73	225,1
09/09/2005	Profonde	7m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	439834,34	26,39
09/09/2005	Profonde	7m	2	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	199924,7	17,59
09/09/2005	Profonde	7m	2	Chlorophytes	Ankistrodesmus falcatus	79969,88	74,62
09/09/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	1799322,29	203,5
09/09/2005	Profonde	7m	2	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	39984,94	5,94
09/09/2005	Profonde	7m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	200333,24	173,09
09/09/2005	Profonde	7m	2	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	10133,59	15,12
09/09/2005	Profonde	7m	2	Diatomées	Stephanodiscus astrea	1559,01	35
09/09/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	Oscillatoria tenuis	136413,68	4,82
09/09/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	167593,95	5,62
09/09/2005	Profonde	7m	2	Pyridinées	Ceratium hirundinella	6236,05	165,39
09/09/2005	Profonde	7m	2	Chlorophytes	Gloeocystis planctonica	6236,05	3,27
09/09/2005	Profonde	7m	2	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	3897,53	6,12
09/09/2005	Profonde	7m	2	Cyanobactéries	Chroococcus limneticus	7015,56	1,26
09/09/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	37632,88	0,01
09/09/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	188164,42	18,92
09/09/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	Chromulina minor	75265,77	6,62
09/09/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	639759,04	38,39
09/09/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	3989085,75	300,77
09/09/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	1279518,07	18,09
09/09/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	978455	34,58
09/09/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	chromulina elegans	37632,88	0,47
09/09/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	112898,65	9,93
09/09/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	602126,15	208,55
09/09/2005	Profonde	7m	3	Chlorophytes	Ankistrodesmus falcatus	37632,88	18,47
09/09/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	1053720,77	119,17
09/09/2005	Profonde	7m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	150531,54	17,73
09/09/2005	Profonde	7m	3	Chlorophytes	Quadrigula closterioides	2338,52	0,36
09/09/2005	Profonde	7m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	182404,58	137,9
09/09/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	197994,72	6,63
09/09/2005	Profonde	7m	3	Diatomées	Melosira granulata	5456,55	7,41
09/09/2005	Profonde	7m	3	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	3118,03	3,29
09/09/2005	Profonde	7m	3	Diatomées	Stephanodiscus astrea	2338,52	57,13
09/09/2005	Profonde	7m	3	Pyridinées	Ceratium hirundinella	3897,53	151,19
09/09/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Oscillatoria tenuis	91981,8	3,25
09/09/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	2338,52	3,57
09/09/2005	Profonde	7m	3	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	9354,08	3,7
09/09/2005	Profonde	7m	3	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	106792,43	11,32
09/09/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	5246024,1	2,64
09/09/2005	Profonde	11m	1	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	469156,63	28,15

09/09/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	2942891,57	145,61
09/09/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	2004578,31	176,33
09/09/2005	Profonde	11m	1	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	170602,41	6,03
09/09/2005	Profonde	11m	1	Chlorophytes	Ankistrodesmus falcatus	42650,6	2,95
09/09/2005	Profonde	11m	1	Chrysophytes	Uroglena americana	127951,81	17,69
09/09/2005	Profonde	11m	1	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	85301,2	5,43
09/09/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	469156,63	162,5
09/09/2005	Profonde	11m	1	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	42650,6	77,04
09/09/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	213253,01	24,12
09/09/2005	Profonde	11m	1	Chrysophytes	Oochromonas vallesiaca	85301,2	13,4
09/09/2005	Profonde	11m	1	Diatomées	Fragilaria crotonensis	230734	168,21
09/09/2005	Profonde	11m	1	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	294653,55	9,87
09/09/2005	Profonde	11m	1	Diatomées	Achantes minutissima	779,51	0,15
09/09/2005	Profonde	11m	1	Pyridinées	Ceratium hirundinella	4677,04	80,25
09/09/2005	Profonde	11m	1	Chlorophytes	Chlorella vulgaris	6236,05	2,38
09/09/2005	Profonde	11m	1	Diatomées	Stephanodiscus astrea	2338,52	33,06
09/09/2005	Profonde	11m	1	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	1559,01	4,76
09/09/2005	Profonde	11m	1	Chlorophytes	Oocystis parva	3118,03	3,17
09/09/2005	Profonde	11m	1	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	49888,43	0,71
09/09/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	6317620,48	3,18
09/09/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Uroglena americana	159939,76	20,1
09/09/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	519804,22	17,42
09/09/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Erkenia subaequicilata	559789,16	33,59
09/09/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	1479442,77	41,83
09/09/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	1639382,53	123,61
09/09/2005	Profonde	11m	2	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	79969,88	189,93
09/09/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	39984,94	95,53
09/09/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	119954,82	5,09
09/09/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	399849,4	152,62
09/09/2005	Profonde	11m	2	Chlorophytes	Ankistrodesmus falcatus	39984,94	10,17
09/09/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	279894,58	31,66
09/09/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Fragilaria crotonensis	286858,49	196,21
09/09/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	1559,01	3,7
09/09/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	314920,73	10,55
09/09/2005	Profonde	11m	2	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	8574,57	0,91
09/09/2005	Profonde	11m	2	Chlorophytes	Gloeocystis planctonica	3118,03	1,63
09/09/2005	Profonde	11m	2	Pyridinées	Ceratium hirundinella	2338,52	135,41
09/09/2005	Profonde	11m	2	Diatomées	Melosira italica subarctica	9354,08	7,41
09/09/2005	Profonde	11m	2	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	4677,04	0,53
09/09/2005	Profonde	11m	2	Chlorophytes	Xanthidium cristatum hipparquii	779,51	51,84
09/09/2005	Profonde	11m	2	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	41313,86	4,38
09/09/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Aphanothece clathrata brevis	5238027,11	2,63
09/09/2005	Profonde	11m	3	Chrysophytes	Bicosoeca multiannulata	79969,88	2,83

09/09/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Woronichiana naegeliana	1839307,23	91,01
09/09/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Aphanizomenon flos aquae	2039231,93	153,75
09/09/2005	Profonde	11m	3	Chrysophytes	Uroglena americana	39984,94	5,53
09/09/2005	Profonde	11m	3	Chrysophytes	Sphaerocystis Schroeteri	119954,82	4,02
09/09/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Coelosphaerium kuntzingianum	279894,58	3,96
09/09/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Anabaena flos aquae	199924,7	22,61
09/09/2005	Profonde	11m	3	Cryptophytes	Cryptomonas erosa	39984,94	42,21
09/09/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Anabaena planctonica	359864,46	137,36
09/09/2005	Profonde	11m	3	Chlorophytes	Ankistrodesmus falcatus	39984,94	3,27
09/09/2005	Profonde	11m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	24164,71	2,73
09/09/2005	Profonde	11m	3	Diatomées	Stephanodiscus astrea	1559,01	29,34
09/09/2005	Profonde	11m	3	Diatomées	Fragilaria crotonensis	182404,58	137,9
09/09/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Microcystis aeruginosa	279842,92	9,38
09/09/2005	Profonde	11m	3	Chrysophytes	Mallomonas acaroides	779,51	1,14
09/09/2005	Profonde	11m	3	Chrysophytes	Dinobryon bavaricum	5456,55	0,66
09/09/2005	Profonde	11m	3	Chlorophytes	Gloeocystis vesiculosa	9354,08	1,06
09/09/2005	Profonde	11m	3	Cyanobactéries	Oscillatoria limosa	26503,23	2,81
09/09/2005	Profonde	11m	3	Pyridinées	Ceratium hirundinella	1559,01	64,9
09/09/2005	Profonde	11m	3	Diatomées	Melosira italica subarctica	5456,55	6,58

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

Alain J., Gentes P., Le Rouzes M. & Mathieu P. 1978. Etude limnologique lac Brome. Gouvernement du Québec, Ministère des richesses naturelles, Direction générale des eaux. Québec.

Baker P.D. & Bellifemine D. 2000. Environmental influences on akinete germination of *Anabaena circinalis* and implications for management of cyanobacterial blooms. *Hydrobiologia*, 427 : 65-73.

Barbiero, R.P. & Welch, E.B. 1992. Contribution of benthic blue-green algal recruitment to lake populations and phosphorus translocation. *Fresh. Biol.* 27: 249-260.

Barghoorn E.S. & Tyler S.A. 1965. Microfossils from the gun flint. *Science*, 147.

Barica J. 1987. Water quality problems associated with high productivity of prairie lakes in Canada : A review. *Wat. Qual. Bull.* 12 : 107-115.

Bélangier B. 1981. Etude Limnologique : synthèse du lac Brome. Ministère de l'environnement, Québec.

Bourrelly P. 1970. Les algues d'eau douce, initiation à la systématique. Tome III: Les algues bleues et rouges. N. Boubée & Cie, Paris.

Bradbury J.P., Colman S.M. & Reynolds R.L. 2004. The history of recent limnological changes and human impact on upper Klamath Lake, Oregon. *J. Paleolimnol.* 31 : 151-165.

Brunberg A-K & Blomqvist, P. 2003. Recrutement of *Microcystis* (Cyanophyceae) from lake sediments: The importance of littoral inocula. *J. Phycol.* 39: 58-63.

Butterwick C., Heaney S.I. & Talling J.F. 2005. Diversity in the influence of temperature on the growth rates of freshwater algae, and its ecological relevance. *Fresh. Biol.* 50 : 291-300

Carmichael, W.W. 1994. The toxins of cyanobacteria. *Sci Am.*, 270 : 78-86.

Carpenter S.R., Caraco N.F., Correll D.L., Howarth R.W., Sharpley N. & Smith V.H. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications* 8 : 559-568.

Chorus I. & Bartram J. 1999. Toxic cyanobacteria in water : a guide to their public health consequences, monitoring and management. World Health Organization, New York.

Clark I.D. & Fritz P. 1997. Environmental isotopes in hydrogeology. Lewis Publishers. New York.

Cline J.D. & Kaplan I.R. 1975. Isotopic fractionation of dissolved nitrate during denitrification in the eastern tropical North Pacific Ocean. *Mar. Chem.* 38 : 453-477.

Cmiech H.A., Reynolds C.S. & Leedale G.F. 1984. Seasonal periodicity, heterocyst differentiation and sporulation of planktonic cyanophyceae in a shallow lake, with special reference to *Anabaena solitaria*. *Br Phycol. J.* 19 : 245-257.

Cuddington K. & Leavitt P.R. 1999. An individual-based model of pigment flux in lakes : implications for organic biogeochemistry and paleoecology. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56: 1964-1977.

Dean, W.E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition : comparison with other methods. *J. Sediment. Petrol.* 44 : 242-248.

Del Giorgio P. & Prairie Y. 1994. Brome Lake Project. A report to the town of Brome Lake. UQAM, Montréal.

Del Giorgio P. & Prairie Y. 1995. Brome Lake Project. A report to the town of Brome Lake. UQAM, Montréal.

Del Giorgio P. & Prairie Y. 1996. Brome Lake Project. A report to the town of Brome Lake. UQAM, Montréal.

Desrochers R. 1970. Brome Lake : an eutrophic lake. A report to the town of Brome lake. Sherbrooke Univ.. Sherbrooke.

Dixit A.S., Roland I.H., Leavitt P.R., Quinlan R. & Smol J.P. 2000. Effects of sequential depositional basins on lake response to urban and agricultural pollution : a paleoecological analysis of the Qu'Appelle Valley, Saskatchewan, Canada. *Fresh. Biol.* 43 : 319-337.

Downing J.A., Watson S.B. & McCauley E. 2001. Predicting cyanobacteria dominance in lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* : 58 : 1905-1908.

Duy T.N., Lam P.K.S., Shaw G.R. & Connell D.W. 2000. Toxicology and risk assessment of freshwater canobacterial (blue-green algae) toxins in water. *Rev. Environn. Cont. Toxicol.* 163 : 113-186.

Eilers J.M., Kann J., Cornett J., Moser K. & St Amand A. 2004. Paleolimnological evidence of change in a shallow, hypereutrophic lake : Upper Klamath Lake, Oregon, USA. *Hydrobiologia* 520: 7-18.

Engstrom D.R., Swain E.B. & Kingston J.C. 1985. A paleolimnological record of human disturbance from Harvey's lake, Vermont : geochemistry, pigments et diatoms. *Fresh. Biol.*, 15 : 261-288.

Fay P. 1987. *The cyanobacteria*. Elsevier, Amsterdam.

Flynn W.W. 1968. The determination of low levels of polonium-210 in environmental materials. *Anal. Chem. Acta*, 43 : 221-227.

Fogg G.E., Stewart W.D., Fay P. & Walsby A.E. 1973. *The Blue-Green Algae*. Academic Press, London and New York.

Freudenthal T., Wagner T., Wenzhöfer F., Zabel M. & Wefer G. 2001. Early diagenesis of organic matter from sediments of the eastern subtropical Atlantic : Evidence from stable nitrogen and carbon isotopes. *Geochim. & Cosmochim. Acta*, 65 : 1795-1808.

Fryxell, G.A. 1983. *Survival strategies of the algae*. Cambridge University Press, Cambridge.

Ganf G.G. & Oliver R.L. 1982. Vertical separation of light and available nutrients as a factor causing replacement of green algae by blue-green algae in the plankton of a stratified lake. *J. Ecol.* 70 : 829-844.

Ghoram P.R. 1964. Toxic algae. In : *Algae and Man*. Jackson (eds), Plenum Press. New York, pp : 307-336.

Goodwind T.W. 1965. *Chemistry and Biochemistry of Plant Pigment*, Acad. Press. New-York.

Gouvernement du Québec 2008. Ministère du Développement durable, de l'environnement et des Parcs. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Québec, Canada.

Hairston N.G.J. 1998. Time travelers ; What's timely in diapause research. *Arch. Hydrobiol Spec. Is. Adv. Limnol.* 52 : 1-15.

Hall R.I., Leavitt P.R., Smol J.P. & Zirnhefts N. 1997. Comparison of diatoms, fossil pigments and historical records as measures of lake eutrophication. *Fresh. Biol.* 38: 401-417.

Hall R.I., Leavitt P., Quinlan R., Dixit A.S. & Smol J.P. 1999. Effects of agriculture, urbanization and climate on water quality in the northern Great plains. *Limnol. Oceanogr.* 44 : 739-756.

Hansson L.A. 1996. Algal recruitment from lake sediments in relation to grazing, sinking and dominance patterns in the phytoplankton community. *Limnol. Oceanogr.*, 41: 1312-1323.

Havens K.E., James R.T., East T.L. & Smith V.H. 2003. N:P ratios, light limitation and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution. *Environ. Pollut.* 122 : 370-687.

Head R.M., Jones, R.I. & Bailey-Watts A.E. 1999. An assessment of the influence of recruitment from the sediment on the development of planktonic populations of cyanobacteria in a temperate mesotrophic lake. *Fresh. Biol.* 41 : 759-769.

Hense I. & Heckmann A. 2006. Towards a model of cyanobacteria life-effects of growing and resting stages on bloom formation of N_2 fixing species. *Ecol. Model.* 195 : 205-218.

Herdman M. 1987. Akinetes : structure and function. In : *The cyanobacteria*. Fay & Van Baalen (eds). Elsevier. Amsterdam, pp : 227-250.

Hori K., Ishii S., Okamoto J., Tanji Y., Weeraphasphong C. & Unno H. 2002. Behavior of filamentous *Anabaena* spp. in water column and its cellular characteristics. *Biochem. Engineer. J.*, 10 : 217-225.

Huber A.L. 1985. Factors affecting the germination of akinetes of *Nodularia spumigena* (Cyanobacteriaceae). *Ap. Envir. Microbiol.*, 49 : 73-78.

Huisman, J., Sharples, J., Stroom, J.M., Vissier, P.M., Edwin A. Kardinaal, W., Verspagen J.M. & Sommeijer B. 2004. Changes in turbulent mixing shift for light between phytoplankton species. *Ecology* 85 : 2960-2970.

Huisman J., Matthijs H. C. P. & Visser P.M. 2005. Harmful cyanobacteria. Springer, Berlin.

Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C & Wright S.W. 1997. Phytoplankton pigments in oceanography. Unesco publishing. Paris.

Jouanneau J.M., Castaing P., Grousset F., Bua-Menard P. & Pedemay P. 1999. Recording and chronology of a cadmium contamination by Cs-137 in the Gironde estuary (SW France). *Comptes rendus de l'académie des sciences serie II, Fascicule a-Sciences de la terre et des planètes* 329: 265-270.

Kalff J. 2002. Limnology : Inland water ecosystems. Prentice-Hall. Upper Saddle River, N.J.

Karlsson I. 2003. Benthic growth of *Gloeotrichia echinulata*. *Hydrobiologia*, 506 : 189-196.

Kesteman J.P., Southam P. & Saint-Pierre D. 1998. Histoire des Cantons de l'Est. Institut québécois de recherche sur la culture. Sainte-Foy (eds), Québec.

Kim B.H., Lee W.S., Kim Y.O. & Han M.S. 2005. Relationship between akinetes germination and vegetative population of *Anabaena flos-aquae* (Nostocales, Cyanobacteria) in Soekchon reservoir (Seoul, Korea). *Archiv. Fur Hydrobiol.* 163 : 49-64.

Kling H.J. 1998. A summary of past and recent plankton of Lake Winnipeg, Canada using algal fossil remains. *J. Paleolimnol.* 19 : 297-307.

Kovacs A.W., Koncz E. & Vörös L. 2003. Akinetes abundance of N₂-fixing cyanobacteria in sediment of lake Balaton (Hungary). *Hydrobiologia* 506-509 : 181-188.

Lagus A., Suomela J., Weithoff G., Heikkilä K., Helminen H. & Sipura J. 2004. Species-specific differences in phytoplankton responses to N and P enrichments and the N:P ratio in the archipelago sea, northern Baltic Sea. *J. Plankton Res.*, 26 : 779-798.

Leavitt, P.R., Carpenter, S.R. & Kitchell, J.F. 1989. Whole-lake experiments: The annual record of fossil pigments and zooplankton. *Limnol. Oceanogr.* 34 : 700-717.

Leavitt, P.R. & Findlay, D.L. 1994. Comparison of fossil pigments with 20 years of phytoplankton data from eutrophic lake 227, Experimental lakes area, Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 2286-2299.

Leavitt P.R. & Hodgson D.A. 2001. Sedimentary pigments. In : *Tracking environmental change using lake sediments volume 3 : Terrestrial, algal and siliceous indicators*. Last and Smol (eds). Kluwer academic publishers. Dordrecht, pp: 295-325.

Leavitt P.R., Brock C.S., Ebel C. & Patoine A. 2006. Landscape-scale effects of urban nitrogen on a chain of freshwater lakes in central North America. *Limnol. Oceanogr.* 51: 2262-2277.

Lehmann M.F., Bernasconi S.M., Barbieri A. & McKensie J. 2002. Preservation of organic matter and alteration of its carbon and nitrogen isotope composition during simulated and in situ early sedimentary diagenesis. *Geochim. & Cosmochim. Acta*, 66 : 3573-3584.

Lewis W.M. Jr. 1976. Surface/volume ratio : Implication for phytoplankton morphology. *Science* 192 : 885-887.

Likens G.E. 1975. Primary production of inland aquatic ecosystems. In: The primary productivity of the biosphere. Lieth and Whittaker (eds), Springer-Verlag. NY, pp :185-202.

Mac Gowan S. & Britton G. 1999. Ancient blue-greens blooms. *Limnol. Oceanog.* 44 : 436-439.

Mac Gregor B., Van Mooy B., Baker B.J., Mellon P.H., Moisander P.H., Paerl H.W., Zehr J., Hollander D. & Stahl D. 2001. Microbiological, molecular biological and stable isotopic evidence for nitrogen fixation in the open waters of Lake Michigan. *Environ. Microbiol.* 3: 205-219.

Maly E.J. 1991. Trophic status, pollution levels, with some recommendations for the management of Lake Brome. A report to the town of Brome Lake. Concordia Univ., Montréal.

Mantoura, R.F.C. & Llewelyn C.A. 1983. The rapid determination of algal chlorophyll and carotenoid pigments and their breakdown products in natural waters by reverse phase high-performance liquid chromatography. *Anal. Chim. Acta* 151 : 297-314.

Margalef R. 1977. *Ecologia*. Omega, Barcelona.

McQueen D.J. & Lean D.R.S. 1987. Influence of water temperature and nitrogen to phosphorus ratios on the dominance of blue-green algae in Lake St. George, Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44 : 598-604.

Millie D.F., Dionigi C.P., Schofield O., Kirpatrick G.J. & Tester P.A. 1999. The importance of understanding the molecular, cellular and ecophysiological bases of harmful algal blooms. *J. Phycol.* 35 : 1353-1355.

Normand Marleau M. & Thomas O. 2005. Suivi de la qualité des eaux du lac Brôme et ses tributaires par l'usage de la spectrophotométrie UV. Université de Sherbrooke 2005. Sherbrooke.

- Nusch E.A. 1980. Comparison of methods for chlorophyll and phaeopigment determination. Arch. Hyrobiol. Beih. Ergebn. Limnol, 14 : 14-36.
- Nürnberg G. K. 1998. Evaluation of the water quality and restoration options of Brome Lake. Freshwater Research, Baysville, Ontario.
- Olding D.D., Hellbust J.A. & Douglas S.V. 2000. Phytoplankton community composition in relation to water quality and water-body morphometry in urban lakes, reservoirs and ponds. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57 : 2163-2174.
- Olivier R.L. & Ganf G.G. 2000. Freshwater blooms. In: The Ecology of Cyanobacteria. Whitton & Potts (eds), Kluwer academic, Amsterdam, pp : 94-149.
- Paerl H.W. 1988. Growth and reproductive strategies of blue-green algae (Cyanobacteria). In: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Sandgren (eds). Cambridge university Press, Cambridge, pp: 261-315.
- Paerl H.W., Tucker J. & Bland P.T. 1983. Carotenoid enhancement and its role in maintaining blue-green (*Microcystis aeruginosa*) surface blooms. Limnol. Oceanogr., 28 : 847-857.
- Parry R. 1998. Agricultural phosphorus and water quality: a U.S. Environmental Protection Agency. J. environ. Quality 27 : 258-261.
- Patoine A. , Graham M.D. & Leavitt P.R. 2006. Spatial variation of nitrogen fixation in lakes of the Northern Great Plains. Limnol. Oceanogr. 51 : 1665-1677.
- Pourriot R. & Meybeck M. 1995. Limnologie générale. Collection écologie. Masson, Paris.
- Prescott G.W. 1973. Algae of the Western Great Lakes area. Otto Koeltz (eds). Science Publishers. Koenigstein, Germany.
- Rasänen J., Kauppila T. & Vuorio K. 2006. Sediment and phytoplankton records of the cyanobacterial genus *Anabaena* in boreal Lake Pyhäjärvi. Hydrobiologia 568 : 455-465.

Rengefors, K., Gustafsson S. & Stahl-delbanco A. 2004. Factors regulating the recruitment of cyanobacterial and eukaryotic phytoplankton from littoral and profundal sediments. *Aquat. Microb. Eco.*, 36 : 213-226.

Reynolds C.S. 1987. Cyanobacterial water-blooms. *Adv. Botanical Res.*, 13 : 67-143

Reynolds C.S. & Walsby A.E. 1975. Water-blooms. *Biol. Rev.* 50 : 437-481.

Ricciardi-Rigault, M., Bird, F.D. & Prairie Y.T. 2000. Changes in sediment viral and bacterial abundances with hypolimnetic oxygen depletion in a shallow eutrophic lac Brome (Quebec, Canada). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56: 1284-1290.

Robarts R.S. & Zohary T. 1987. Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration and growth rates of bloom-forming cyanobacteria. *New Zealand j. marine freshwat. Res.*, 21 : 391-399.

Rolland, A., Bird, D.F., Giani A. 2005, Seasonal changes in composition of the cyanobacterial community and the occurrence of hepatotoxic blooms in the eastern townships, Quebec. *J. Plank. Res.*, 27 : 683-694.

Sartory, D.P. & Grobbelaar J.U. 1984. Extraction of chlorophyll from a freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia* 114: 177-187.

Schindler D.W., 1978. Factors regulating phytoplankton production and standing crop in the world's freshwaters. *Limnol. Oceanogr.* 23 : 478-486.

Schindler D.W., 2006. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnol. Oceanogr.* 51 : 356-363.

Sivonen, K. & Jones, G. 1999. Cyanobacterial toxins. In : Toxic cyanobacteria in water : A guide to their public health consequences, monitoring and management. Chorus and Bartram (eds). World Health Organisation. New York, pp : 41-111.

Smith V.H. 1983. Low nitrogen to phosphorus ratios favour dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science*, 221 : 669-671

Smith V.H., Joye S.B. & Howarth R.W. 2006. Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. *Limnol. Oceanogr.* 51 : 351-355.

Sorgente D., Frignani M., Langone L. & Ravaioli M. 1999. Chronology of marine sediments, interpretation of activity-depth profiles of ^{210}Pb and other radioactive tracers, Part I. Consiglio nazionale delle ricerche istituto per la geologia marine Bologna, Technical Report n54. Bologna.

Stahl-Delbanco A. & Hansson L.A. 2002. Effects of bioturbation on recruitment of algal cells from the 'seed bank' of lake sediments. *Limnol. Oceanogr.* 47: 1836-1843.

Steinberg C.E. & Hartmann H.M. 1988. Planktonic bloom-forming cyanobacteria and the eutrophication of lakes and rivers. *Fresh. Biol.* 20 :279-287.

Stewart, W.D., Haystead, A., & Pearson H.W. 1969. Nitrogenase activity in heterocysts of blue-green algae. *Nature*, 224 : 226-228.

Stewart W.D. & Lex, M. 1970. Nitrogenase activity in the blue-green alga, *Plectonema boryanum* strain 594. *Arch. Mikrobiol.* 73: 250-260.

- Swain E.B. 1985. Measurement and interpretation of sedimentary pigments. *Fresh. biol.* 15 : 53-75.
- Takamura N.M., Yasuno M. & Sugahara K. 1984. Overwintering of *Microcystis aeruginosa* Kütz. in a shallow lake. *J. of Plankton Res.* 6, 1019-1029.
- Talbot M.R. 2001. Nitrogen isotopes in paleolimnology. In : *Tracking environmental change using lake sediments volume 2 : Physical and geochemical methods*. Last and Smol (eds). Kluwer. Dordrecht, pp : 401-439.
- Taylor E.M. 1908. *History of Brome County, Quebec*. J. Lovell, Montreal.
- Teranes J.L. & Bernasconi S. M. 2000. The record of nitrate utilisation and productivity limitation provided by $\delta^{15}\text{N}$ values in lake organic matter-A study of sediment trap and core sediments from Baldeggersee, Switzerland. *Limnol. Oceanogr.* 45: 801-813.
- Tilman D., Kilham S.S., & Kilham P. 1982. Phytoplankton community ecology : the role of limiting nutrients. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 13 : 349-372.
- Tonno I. & Noges T. 2003. Nitrogen fixation in a large shallow lake : Rates and initiation conditions. *Hydrobiologia* 490 : 23-30.
- Trimbee A.M. & Harris G.P. 1984. Phytoplankton population dynamics of a small reservoir: use of sedimentation traps to quantify the loss of diatoms and recruitment of summer bloom-forming blue-green algae. *J. Plankton Res.* 6 : 897-918.

Trimbee A.M. & Prepas E.E. 1987. Evaluation of total phosphorus as a predictor of relative biomass of blue-green algae with emphasis on Alberta lakes. Can. J. Fis. Aquat. Sci., 44 : 1337-1342.

Tsujimura S. 2004. Reduction of germination frequency in *Anabaena* akinetes by sediment drying : a possible method by which to inhibit bloom formation. Water Res., 38 : 4361-4366.

Tsujimura S., Ishikawa K. & Tsukada H. 2001. Effect of temperature on growth of the cyanobacterium *Aphanizomenon flos-aquae* in Lake Biwa and Lake Yogo. Phycol. Res. 49 : 275-280.

Tymowski R. G. & Duthie H. C. 2000. Life strategy and phosphorus relations of the cyanobacterium *Gloeotrichia echinulata* in an oligotrophic Precambrian Shield lake. Archiv Hydrobiologia 148, (3) : 321-332.

Utermöhl H. 1958. Zur Vervollkmmnung des quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Internat. Ver. Theoret. Angew. Limnol. 9 : 1-38.

Van Den Hoek C., Mann D.G. & Jahns H.M. 1995. Algae : An introduction to phycology. Cambridge University Press. Cambridge

Van Dok W. & Hart B.T. 1997. Akinete germination in *Anabaena circinalis* (Cyanophyta), J. of Phycol. 33, pp. 12-17.

Van Geel B., Mur L.R., Ralska-Jasiewiczowa M. & Goslar T. 1994. Fossil akinetes of *Aphanizomenon* and *Anabaena* as indicators for medieval phosphate-eutrophication of Lake Gosciaz (Central Poland). Rev. Paleob. Palynol. 83 : 97-105.

Walsby A.E. 1992. The control of gas-vacuolate Cyanobacteria. In : Eutrophication: Research and application to water supply.. Sutcliffe & Jones (eds). Freshwater biological association. London, pp: 150-162.

Walsby A.E. & Reynolds C.S. 1980. Sinking and floating. In : Physiological ecology of phytoplankton, Studies in Ecology 7. Morris (eds). Blackwell. Oxford, pp : 437-481.

Watanabae M.F. & Oishi S. 1985. "Effect of environmental factors on toxicity of a cyanobacterium (*Microcystis aeruginosa*).". Appl. Environn. Microbiol. 49 : 1342-1344.

Wetzel R.G. 1983. Limnology 2nd ed. Saunders College publishing.

Whitton B.A. & Sinclair C. 1975. Ecology of blue-green algae. Sci. Prog. Oxford. 62 : 429-446.

Whitton, B.A. & Potts M. 2000. Introduction to cyanobacteria. In: The ecology of cyanobacteria : Their diversity in time and space. Whitton & Potts (eds). Kluwer academic publishers. Dordrecht, pp : 563-583.

Wildman R.B., Loescher J.H. & Winger C.L. 1975. Development and germination of akinetes of *Aphanizomenon flos-aquae*. J. Phycol. 11 : 96-104.

Wolfe B., Kling H., Brunskill G. & Wilkinson P. 1994. A case for mutiple dating approach : a lake 227 freeze core ; an experimentally fertilized lake with varved sediments. Can. J. Fish. Aquat. Sc. 51 : 2274-2285.

Wyatt, J.T. & Silvey J.K. 1969. Nitrogen fixation by *Gloeocapsa*. Science, 165 : 908-909